

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О. В. Гондляр

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 133 - Галузеве машинобудування**

**на тему: «Обертова піч 4,5х80м з модернізацією приводу»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи ЛП-71мп

Мащенко Борис Тарасович \_\_\_\_\_

Керівник:

д.т.н., доц,

Щербина В.Ю. \_\_\_\_\_

Консультант з розділу модернізація

доцент каф. ХПСМ,  
д.т.н., доц. Щербина В.Ю.

Рецензент \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

## **Інженерно-хімічний факультет**

### **Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність – 133 - Галузеве машинобудування

Спеціалізація - Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.В.Гондлях

«\_\_\_»\_\_\_\_\_2018 р.

### **ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Машенко Борис Тарасович**

1. Тема дисертації «Обертова піч 4,5х80м з модернізацією приводу», науковий керівник дисертації Щербина Валерій Юрійович, доцент, затверджені наказом по університету від «\_\_\_»\_\_\_\_\_20\_\_ р. №\_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації

---

3. Об'єкт дослідження – корпус трубного млина.

4. Вихідні дані: внутрішній діаметр – 4.5 м, довжина барабана –80м, число обертів млина–3.5 об/хв, Продуктивність – 125 т/год, відстань між осями бандажів – 23.3м, Витрата питомої кількості теплоти– 1440 кдж/кг, Відношення довжини до діаметра – 18, м, Кількість опор 4, Маса обертових частин печі з футеровкою 1600 т, Нахил печі 4%.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити. Пояснювальна записка повинна мати наступний вигляд: зміст, вступ, призначення та галузь застосування виробу який проектується, технічна характеристика базового обладнання, список конструкції базового обладнання, основні частини та принципу дії, літературний та патентний огляд стану питання, обґрунтування запропонованої модернізації, розділ «Автоматизована система управління», розділ «Охорона праці та навколишнього середовища».

Література, додаток: таблиця «Перелік розглянутих патентів». Розділ «Розрахунки» має включати: розрахунки які підтверджують працездатність та основні геометричні розміри: на міцність, кінематичні та параметричні, теплові, розрахунки, що підтверджують надійність. Розділ «Технологія монтажу та експлуатації»: технологія збирання складальної одиниці, технологія складання машини, змащення машини та література.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу. Технологічна схема лінії або загальний вигляд обладнання, креслення вузлів обладнання (2-3 листа), креслення модернізованих вузлів (2 листа), схема автоматизації (1 лист), плакати ілюстрацій результатів виконаних розрахунків і програм конструкторського проектування (1-2 листа)

7. Орієнтовний перелік публікацій. Дві теза на VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Модернізація	Щербина В.Ю., доцент каф. ХПСМ		
Монтаж та експлуатація	Борщик С.О., ст. викл. каф. ХПСМ		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Титульні листи. Завдання. Календарний план. Реферати з ключовими словами (українською та іноземною мовами). Перелік позначень, скорочень. Зміст дисертації..		
2	<b>Пояснювальна записка:</b> - вступ - опис базової машини - патентно-літературний огляд - таблиця розглянутих патентів - вибір і обґрунтування модернізації		
	- автоматизація		
	- техніка безпеки		
	- розробка стартап-проекту і оцінкою техніко-економічних показників модернізації,		
	- висновки щодо модернізації,		
3	<b>Розрахунки</b>		
	-кінематичні, параметричні, теплові розрахунки, розрахунки на міцність та інші. -програма та результати розрахунків. -3D модель деталі чи вузла. -візуалізація результатів розрахунків		
4	Технологія монтажу та експлуатації.		
5	<b>Загальний висновок</b>		
	<b>Список посилань</b>		
6	<b>Додатки</b> (специфікації, таблиці, авторські статті, тези, доповіді, заяви на винахід, патенти, та інші досягнення)		
	<b>Графічна частина</b>		
1	Технологічна лінія		
2	Загальний вигляд машини		
3	Складальне креслення вузлів		
4	Складальне креслення вузлів		
5	Модернізації (2). Складальні креслення.		
6	Розрахункова 3D модель		
7	Результати розрахунків		

Студент

Б.Т. Мащенко

Науковий керівник дисертації

В.Ю. Щербина

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської дисертації на тему «Обертова піч 4,5х80 з модернізацією приводу» обсягом аркушів, рисунків, таблиць.

Об'єкт дослідження: обертова піч.

Мета дослідження: модернізація опірних роликів обертової печі.

Обертові печі застосовуються у різних галузях промисловості: алюмінієвій, хімічній, вогнетривкій. Однак найбільш широке поширення вони знайшли у виробництві цементу.

В магістерській дисертації приведено вибір та обґрунтування модернізації приводу, та запропонована нова оригінальна ідея, що значно збільшує річну продуктивність машини, термін служби корпусу та футеровки за рахунок зменшення навантаження, що в них виникають. Теоретичні ідеї модернізації підтверджені результатами розрахунку, які виконані з допомогою САПР системи «Весна». Аналіз розрахунків показав можливість впровадження розробленої конструкції в промисловість. Доцільність проведення модернізації підтверджуються економічним розрахунком, який представлений в пояснювальній записці.

Випуск цементу передбачається вести з високим рівнем механізації та автоматизації. Пояснювальна записка містить спеціальний розділ, присвячений автоматизації виробничого процесу. Розділ техніки безпеки та охорони праці представляє необхідні безпечні умови на виробництві.

КЛІНКЕР, ОБЕРТОВА ПІЧ, МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ,  
ПРОДУКТИВНІСТЬ, ПРИВІД.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РЕФЕРАТ

Объяснительная записка к магистерской диссертации на тему «Вращающаяся печь 4,5х80 с модернизацией привода» объемом листов, рисунков, таблиц.

Объект изучения: вращающаяся печь.

Цель изучения: проведение модернизации опорных роликов вращающейся печи.

Вращающиеся печи применяются в разных отраслях промышленности: алюминиевой, химической, огнеупорной. Однако наиболее широкое распространение они нашли в производстве цемента.

В магистерской диссертации приведен выбор модернизации привода и избранная новая идея, что повышает годовую производительность машины, срок службы корпуса и футеровки за счет уменьшения нагрузки, которые возникают в них. Анализ расчетов показал возможность внедрения разработанной конструкции в промышленность.

Целесообразность проведения модернизации подтверждается экономическими расчетами, которые представлены в объяснительной записке.

Выпуск цемента предусматривается вести с высоким уровнем механизации и автоматизации. Объяснительная записка содержит специальный раздел, отведен для автоматизации процессу изготовления. Раздел техники безопасности и охраны труда представляют обязательные условия безопасности на производстве.

КЛИНКЕР, ВРАЩАЮЩАЯСЯ ПЕЧЬ, МЕХАНИЧЕСКОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ПРИВОД.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ABSTRACT

Explanatory note to the degree project on a theme «the Rotating furnace 4,5x80 with modernization of bearing part » in volume of sheets, drawings, tables.

Research object: circulating stove.

Research purpose: modernization of bearing part of circulating stove.

Rotating kilns are applied in different industries: aluminum, chemical, heat-resistant. However most of them have found a wide circulation in keramzit manufacture.

The rotating kiln is difficult technological device, demands constant improvement for maintenance of necessary rates of manufacture. In modern conditions before the industry the problem in increase volume of finished goods, also in improvement of quality of made is put.

A choice and ground of modernization of bearing part is resulted in a diploma project, and a new original idea which increases the annual productivity of machine considerably is offered, term of service of corps and fettling due to diminishing of loading, that in them arise up. The theoretical ideas of modernization are confirmed the results of calculation, which are executed with the help of modern SAPR of the systems «GdrDin» that «BECHA». The analysis of calculations rotined possibility of introduction of the developed construction in industry. Expedience of leadthrough of modernization confirmed an economic calculation which is presented in an explanatory message.

It is foreseen to conduct the issue of keramzit with a high level mechanization and automation. An explanatory message contains the special section, devoted automation of production process. The section of accident and labour protection prevention presents necessary safe terms on a production.

CLINCER, ROTATING KILN, MECHANICAL EQUIPMENT,  
PRODUCTIVITY, DRIVE.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>2</b>
<b>1. ОПИС БАЗОВОЇ МАШИНИ .....</b>	<b>4</b>
1.2 Технічні характеристики базової печі .....	11
1.3 Режим роботи печі.....	12
<b>2. ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД .....</b>	<b>14</b>
2.1 Літературний огляд .....	14
2.2 Вибір і обґрунтування модернізації.....	15
<b>3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ .....</b>	<b>19</b>
3.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення клінкеру як об'єкта автоматизації.....	19
3.2 Опис розробленої схеми автоматизації процесу випалу клінкеру .....	20
3.3 Висновки щодо виконання поставлених задач автоматизації .....	22
3.4 Специфікація на прилади і засоби автоматизації .....	23
<b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>26</b>
4.1 Виробничий шум .....	27
4.2 Вібрація .....	29
4.3 Електробезпека.....	30
4.4 Запиленість повітря.....	32
4.5 Освітлення .....	33
4.6 Надзвичайні ситуації .....	33
<b>5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ .....</b>	<b>37</b>
<b>6. ВИСНОВКИ .....</b>	<b>51</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>53</b>

Змн.	Лист	№ докum.	Підпис	па			
Розроб.	Мащенко Б.Т.						
Перевір.	Щербина В.Ю.						
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Аркушів
						1	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського ІХФ, ХПСМ		



## ВСТУП

Сучасні українські реалії та світові реалії диктують певні правила. Ціни на енергоносії поступово підвищуються що однозначно впливає на вітчизняну промисловість, зокрема і на промисловість будівельних матеріалів. На перше місце виходять питання економічності та екологічності наявних виробництв.

Для промисловості будівельних матеріалів питання економічності і якості мають першочергове значення. В даний момент поставлена задача не просто задовольнити потреби в будівельних матеріалах, але і забезпечити раціональне використання трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів на їхнє виробництво.

У сучасних умовах, до промисловості будівельних матеріалів пред'являються вимоги забезпечення випереджальних темпів росту галузі, для створення пропорцій між рівнем розвитку будівництва і його матеріально-технічної бази, розвитку масового виробництва прогресивних будівельних конструкцій і деталей, переходу від постачання на об'єкти будівництва окремих конструкцій і матеріалів до комплексного постачання деталей і виробів повної заводської готовності, зниження трудомісткості, зниження витрат матеріальних і енергетичних ресурсів на виготовлення традиційних і нових будівельних матеріалів як за рахунок удосконалювання структури і номенклатури що випускається продукції, так і за рахунок механізації й автоматизації виробництва.

Технологічний процес у будівництві може бути забезпечений задоволенням потреб у бетонних і залізобетонних конструкціях, що вимагає різкого збільшення випуску цементу а відповідно і клінкеру. Цемент є основним матеріалом у сучасному будівництві.

Ставиться задача по підвищенню якості виготовленого клінкеру, більш економічних, безвідхідних, екологічно чистих технологій, що дозволяють у багато

разів підвищити ефективність використання ресурсів і знизити енерго і матеріалоємність виробництва клінкеру.

Для вирішення поставленої задачі розглянута технологічна схема з виробництва цементу, де застосовується обертова піч, конструкція обертової печі та режим роботи, проведено літературно-патентний пошук для визначення недоліків обертових печей та їх усунення. У програмному комплексі AutoCAD на функціональній мові AutoLISP написана програма для 2D та 3D креслення обертової печі. Проведений розрахунок базового корпусу обертової печі з вінцевою шестернею та модернізованого корпусу зі встановленим двигуном типу GMD в системі ANSYS.

При виконанні курсової роботи використовувалися дані отримані при вивченні дисциплін:

- Інжиніринг технологічного обладнання;
- САПР технологічного обладнання;
- Сучасні методи розрахунку процесів і апаратів;
- Технологічні основи машинобудування;
- Процеси, апарати і машини галузі;
- Механічне обладнання;
- Механіка твердого деформованого тіла;
- Матеріалознавство;
- Інженерні розрахунки на персональних електронно-обчислювальних машинах;

# 1. ОПИС БАЗОВОЇ МАШИНИ

## 1.1 Опис конструкції обертової печі

Обертова піч 4,5х80 м – це тепловий агрегат безперервної дії. Завдяки обертанню печі під нахилом до горизонту 3,5% сировина, що поступає безперервно у верхній кінець печі, проходить через окремі зони робочого простору, обпалюється і у вигляді клінкеру виходить з печі в холодильник. Подача сировини в піч автоматизована відповідно до її продуктивності, тобто із швидкістю обертання [1].

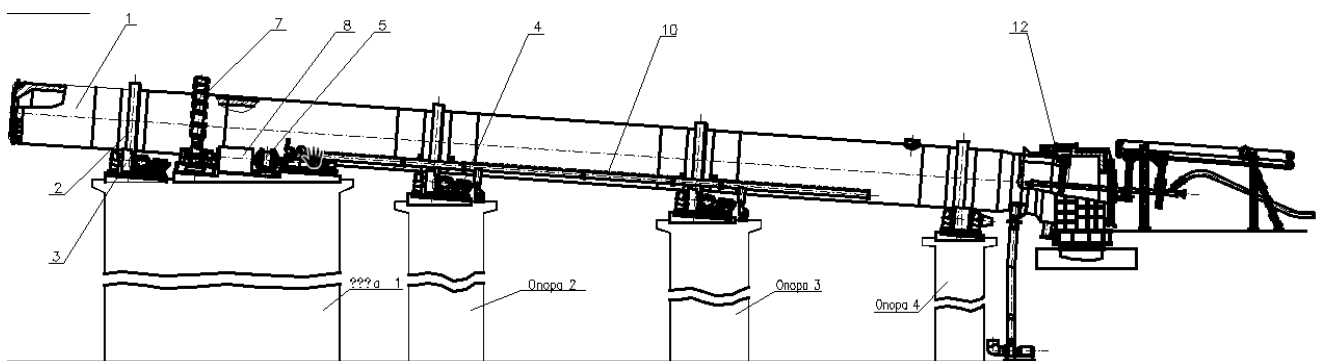


Рис.1.1 Схема обертової печі

Піч (рис.1.1), що обертається, складається з циліндричного корпусу 1, що спирається через бандажі 2 на опорні ролики 3. Корпус має ухил 3,5—4% і обертається із швидкістю 0,6—3,5 об/мин. Привід печі складається з електродвигуна 5, редуктора 8, двох підвінцьової шестерні і одного вінцьового колеса 7.

В середині печі, на одній з її опор, встановлюється пара роликів (горизонтально) для контролю за зсувом печі уздовж осі (вниз або вгору).

Допоміжний привід включається в роботу при ремонтах печі, в період розпалу і зупинки, коли піч повинна обертатися поволі. Сировинна мука подається в живильну трубу за допомогою ковшових або об'ємних дозаторів, що знаходяться у холодного кінця печі. З боку головки 12 в піч подається паливо і повітря; в результаті того, що згоряє паливо виходять гарячі гази, потік

яких направлений від гарячого кінця печі до холодного—назустріч матеріалу, що рухається. Клінкер охолоджується в колосниково-перештовхуючому холодильнику. На печах корпус обладнаний центральною системою мастила.

Основні вузли обертової печі такі: корпус, футеровка, привід, роликові опори, бандажі та розвантажувальна головка.

Корпус є один з найбільш відповідальних елементів обертової печі. Він піддається не тільки силовим впливам вагових навантажень, але випробує і температурні напруги, нагріваючись в зоні спікання до 300...400 °С. Стійкість футеровки у великій мірі залежить від твердості оболонки корпусу. Значні деформації корпусу приводять до різкого скорочення термінів служби футеровки. Найбільші деформації обичайок корпусу мають місце над опорами, отже, в опор твердість обичайок повинна бути більше, ніж у прольотах. Виходячи з цього обичайки корпусів розділяють на рядові (пролітні) і підбандажні, товщина яких більше, ніж пролітних.

Корпуса печей зварюються з окремих обичайок на місці монтажу в секції. Зварювання монтажних секцій виробляється після зборки і вивірки всього корпусу і нівелювання його по бандажах [5].

Корпус печі спирається на роликоопори бандажами. Зборка і зварювання останніх виконується на місці монтажу з півкілець, попередньо оброблених на заводі-виробнику. При установці бандажів враховують різне теплове розширення підбандажної обичайки і бандажа. У холодному стані між бандажем і підбандажною обичайкою передбачають зазор на теплове розширення обичайки. Зазори вибираються такими, щоб забезпечувалася щільна посадка бандажа. Якщо зазор у сполученні бандаж – підбандажна обичайка не усунута, при обертанні печі має місце відносне переміщення поверхонь, що сполучаються, як наслідок, їхнє зношування. Цей зазор вибирають таким чином, щоб при розігріві корпусу печі одержати посадку з деяким тепловим натягом, що забезпечує більш надійне з'єднання бандажа з корпусом. Однак у цьому випадку при розрахунку підбандажної обичайки і бандажа варто враховувати напруги від теплового натягу. Бандажі, як правило, установлюють на попередньо приварені до

підбандажної обичайки корпуса печі накладки товщиною 25...40 мм із проміжками, рівними ширині накладок. На рис. 1.2. зображена схема установки бандажів.

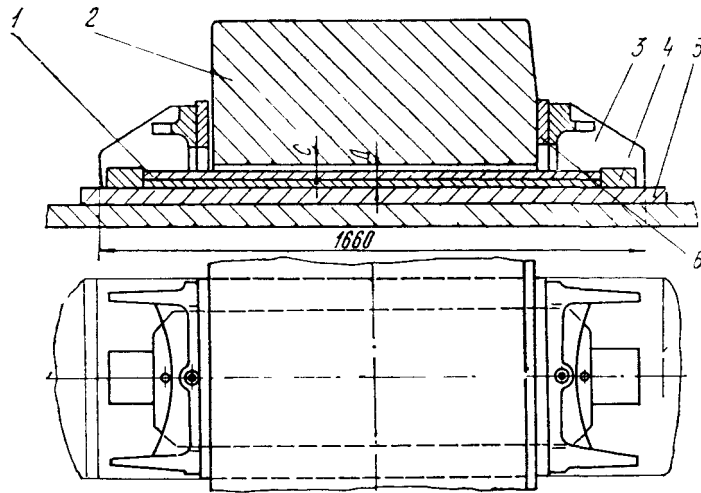


Рис.1.2 Установка бандажів

Між бандажом 2 і привареними до підбандажної обичайки накладками 5 введений набір прокладок 1, які забезпечують необхідний тепловий зазор. Бандаж утримується від осьових переміщень башмаками 3, привареними до накладок 5. Фіксація прокладок 1 здійснюється башмаками і упорами 4, які також приварюються до накладок 5. Між башмаками і бандажом передбачена установка упорних прокладок 6. При монтажі печі бандаж опори, на якій розміщується привод, остаточно закріплюються башмаками. Бандажі всіх інших опор фіксуються тимчасовими упорами. Кінцева установка і закріплення бандажів башмаками провадитися після визначення взаємного положення бандажів і роликоопори на гарячій печі [5].

Опори печі містить у собі фундаментну раму і дві роликоопори, кожна з яких складається з ролика з віссю і підшипниковими вузлами, встановлених у корпусах на рамі. Під роликами на рамі передбачена установка водяних ванн для охолодження роликів. Ролик встановлюється на вісь методом напресовки[4].

Конструкції ущільнень обертових печей ускладнюються через високу температуру, значні теплові деформації та неминуче биття корпусу при його обертанні. Ущільнення холодного кінця печі 4,5х80 м (рис.1.3) містить у собі нерухому обичайку 1, закріплену до пилеосаджувальної камери, і рухливу 2, приварену до корпусу печі. На обичайці 1 закріплені болтами 3 сектори з термостійкої гуми 4, що притискаються до циліндричної поверхні обичайки 2 тросом 5. У такий спосіб утвориться досить герметична пара тертя сектори 4 — обичайка 2. При цьому гнучкі сектори досить добре компенсують радіальне биття завантажувального кінця печі і його осьове переміщення.

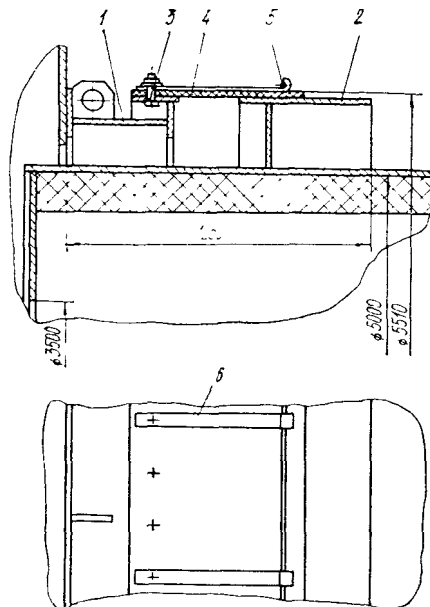


Рис.1.3 Ущільнення холодного кінця печі

Обичайки складаються з чотирьох секторів, що остаточно закріплюються і зварюються після взаємовивірки їх при монтажі. Трос утримується від зісковзування з гнучких секторів канатотримачами 6.

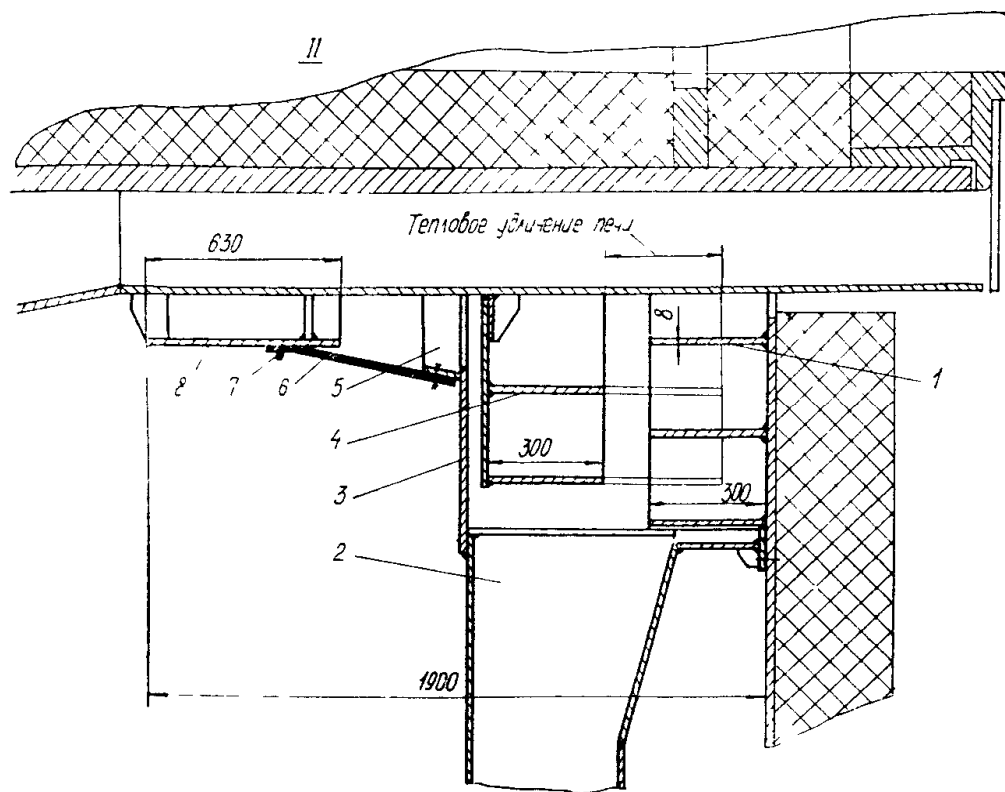


Рис.1.4 Ущільнення гарячого кінця печі

Ущільнення гарячого кінця печі (рис.1.4) виконано комбінованим - лабіринтова камера сполучається з гнучким ущільненням. Тут нерухомі кільця 1 закріплюються на головці печі, а кільця 4 — на кожусі корпусу печі, утворюючи лабіринт. Лабіринт охоплений кільцевою камерою 3 з конусним фланцем 5, до якого кріпляться сектори з термостійкої гуми 6. Сектори 6 притискаються до обичайки 8 тросом 7. Обичайка 8 приварена до кожуха гарячого кінця печі. Щільне притиснення гнучких секторів до обичайки забезпечується пружинною стяжкою троса. У камері ущільнення створюється деякий надлишковий тиск від вентилятора охолодження гарячого кінця печі. Подача повітря здійснюється через патрубки 2.

Привід. Обертові печі досить тихохідні: вони роблять лише 2-5 об./хв [9]. У рух піч приводиться через зубчастий вінець, посаджений на її корпус, який знаходиться в зачепленні з ведучою шестернею. Для обертання печі з такою незначною швидкістю між електродвигуном і ведучою шестернею встановлюється, зазвичай, потужний редуктор із середнім передавальним числом  $i = 180$ . Для найменшого скручування корпусу під час його обертання вінець поміщають приблизно на однаковій відстані від завантажувального і розвантажувального кінців печі. Абразивний пи́л та висока температура на деталі приводного механізму впливають не сильно. Через великий крутний момент, який діє на вінець, його доводиться виготовляти з великим модулем зачеплення, що дорівнює 40-50 мм.

Подальше збільшення розмірів і продуктивності знову виготовлених печей, що супроводжується зростанням потужності, потрібної для їх обертання, призвело до необхідності обладнати такі печі двома приводними пристроями, розташованими по обидва боки зубчастого вінця. У печей великих розмірів, які мають велику інерцією, крім основного, встановлюється ще допоміжний приводний механізм, за допомогою якого піч приводиться в рух (1-4 об./год). При ремонті корпусу печі або його футеровки часто доводиться повертати піч на певний кут. Допоміжний приводний механізм використовують також для повільного обертання розігрітої печі і усунення провисання її корпусу по довжині зони найвищої температури при раптовому припиненні подачі на завод електроенергії. Щоб можна було використовувати допоміжний приводний механізм, його обладнають спеціальним електрогенератором, що приводиться в рух від бензинового двигуна або дизеля. Оскільки, швидкість обертання печі при роботі допоміжного приводного механізму дуже мала, незначна і споживана їм потужність [3].

Робота приводного механізму печі багато в чому залежить від правильності посадки зубчастого вінця на її корпус [9]. Вінець повинен розташовуватися центрально щодо центру перетину корпусу, міцно з'єднуватися з ним і еластично



сприймати окружне зусилля, що передається ведучою шестірнею. У більшій частині працюють обертових печей зубчасті вінці посаджені на корпус за допомогою тангенціально розташованих плоских пружин або за допомогою пружин, встановлених уздовж.

Однак, точність посадки вінця на корпус за допомогою тангенціально розташованих пружин досягається з великими труднощами. Крім того, через наявність приливів ускладнюється конструкція вінця. Зі збільшенням діаметра печі недоліки посадки вінця на корпус за допомогою тангенціально розташованих пружин значно зростають.

Загалом, приводний механізм має досить складну конструкцію та багато елементів. А як відомо чим більша кількість складових тим менша надійність всього приводу. Також, правильно встановити зубчастий вінець вимагає багато часу та зусиль. Ці недоліки є дуже вагомими і в сучасних реаліях їм не місце. На вирішення цього питання спрямована моя робота.

## 1.2 Технічні характеристики базової печі

Технічні характеристики базової печі наведені в табл. 1.5:

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика машини

Показник	Піч сухого способу виробництва 4,5х80м
Продуктивність, т/год	125
Площа внутрішньої поверхні печі по футеровці, м <sup>2</sup>	1075
Витрата питомої кількості теплоти, кдж/кг	1440
Теплові напруги, $\delta_F \cdot 10^6$ , кдж/(м <sup>2</sup> ч)	—
Знімання клінкера з 1 м <sup>2</sup> футеровки, кг/(м <sup>2</sup> ч)	—
Відношення довжини до діаметра	18
Нахил печі, %	4
Кількість опор	4
Частота обертання печі: від головного привода, об/хв	3,5
Частота обертання печі: допоміжного привода, об/год	2,2
Потужність електродвигуна головного привода, кВт:	400
Потужність електродвигуна допоміжного привода, кВт:	37
Маса обертових частин печі з футеровкою, т:	1600
Маса приводу, т:	18
Маса бандажа, т:	42
Діаметр, бандажа, м:	5,47
Діаметр, приводу, м:	1,7
Діаметр, цапфи осі ролика, м:	0,56

### 1.3 Режим роботи печі

Прожарюють різні за властивостями матеріали. З відповідністю з послідовним ходом технологічних перетворень при прожарюванні сировинних матеріалів всю довжину печі слід розділити на три зони. Перша - зона підсушки і підігріву газами, які відходять. Це найдовша зона, в прагнуть найефективніше використовувати тепло відхідних газів. Температура на початку зони близько 1100 °С, а в кінці - близько 500-600°, чим коротше піч, тим вище температура газів, що залишають її.

Друга – зона прожарювання, має найбільшу температуру газового потоку (1300-1400 °С). Матеріал нагрівається в ній до 1250-1300 °С. Довжина зони прожарювання визначається довжиною факела палаючого газу і зазвичай складає близько 5 м. Якщо в матеріалах міститься велика кількість летючих, наприклад нафтовий кокс, то в результаті їх горіння зона прожарювання може зрости до 12-15м.

Третя – зона охолодження. Це – найкоротша зона; вона розташована в передній частині печі перед факелом палаючого газу. Нормальною довжиною для цієї зони слід вважати 2-3 м. Однак в залежності від стану зони прожарювання, яка може пересуватися як в одну, так і в іншу сторону печі, довжина зони охолодження може і скорочуватися до 1м, і збільшуватися до 5–6 м. Це порушення технологічного режиму, а тому неприпустимо.

Найбільш відповідальною є зона прожарювання, від довжини і розташування якої залежить якість прожарювання, величина угару. У разі найбільшого удалення зони прожарювання від гарячої головки печі різко зростає угар матеріалу, так як надходить в піч надлишок повітря, необхідний для спалювання летучих речовин, проходячи над шаром вже прожареного і нагрітого до 1200 °С матеріалу, спалює його. Чим довше ця ділянка, тим більше згорає матеріалу і більш збіднене киснем повітря надходить в зону прожарювання. Через нестачу кисню летючі речовини, які виділились, повністю не згорають в печі, а догорають в кінці, куди разом з матеріалом надходить повітря. Іноді летючі

догорають за межами печі; при цьому спостерігається різке підвищення температури газів, що відходять.

Подовження зони прожарювання є позитивним фактором, так як створюються умови для більш тривалого перебування матеріалу при найбільш високій температурі в печі і, отже, більш швидкого і кращого прожарювання. При великій довжині зони прожарювання може бути збільшена продуктивність печі, для цього потрібно лише збільшити швидкість руху матеріалу за рахунок збільшення числа оборотів печі.

До параметрів технологічного режиму печі відносяться також обсяг завантаження печі матеріалом, швидкість руху матеріалу, температура і тягові умови.

Обсяг завантаження залежить від діаметра печі і складає 6-15 % її обсягу; чим більше діаметр печі, тим менше повинен бути коефіцієнт заповнення. При внутрішньому діаметрі печі близько 1м коефіцієнт заповнення допускається 12-15%, а при діаметрі 2,5-3,5 – до 6-8%. При занадто високому коефіцієнті заповнення печі погіршуються умови прожарювання, пересування матеріалу і тепловіддача футерівки, тому корпус печі перегрівається, а якість прожарювання знижується. Однак при зменшенні коефіцієнта заповнення печі зменшується її продуктивність. Для створення сприятливих умов управління режимом і стабільної якості прожарювання коефіцієнт заповнення при експлуатації печі повинен бути постійним. Тому піч повинна бути обладнана точними дозаторами. Оскільки дозатори об'ємного дії, для сталості масової завантаження потрібно сталість гранулометричного складу матеріалів, які потрапляють в піч. Особливу увагу слід звертати на максимальну крупність матеріалу, яка не повинна перевищувати 40 мм.

Час перебування матеріалу в печі в основному визначається її розмірами, температурним режимом і властивостями прожарюємо матеріалів.

## 2. ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД

### 2.1 Літературний огляд

Обертові печі застосовуються в хімічній, будівельній, гірничорудній, металургійній та інших галузях промисловості. Агрегат є невід'ємною частиною таких складних технологічних процесів, як виготовлення цементу, виробництво різних видів електродної продукції і тд.

Власне кажучи, обертова піч складається з наступних конструктивних елементів: корпусу, опор, приводу, головки, ущільнюючих та теплообмінних пристроїв, футерування та термоізоляції.

Обертову піч вперше застосував Фредерик Ренсом. Уперше він отримав патент в Англії (патент № 5442 від 2 травня 1885 р. під назвою «Удосконалена установка для виробництва цементу»), а потім США (патент № 340357 від 20 квітня 1886 р. під назвою «Установка для виробництва цементу»). Креслення обертової печі, яка приведена в патенті Ренсома (рис 2.1).

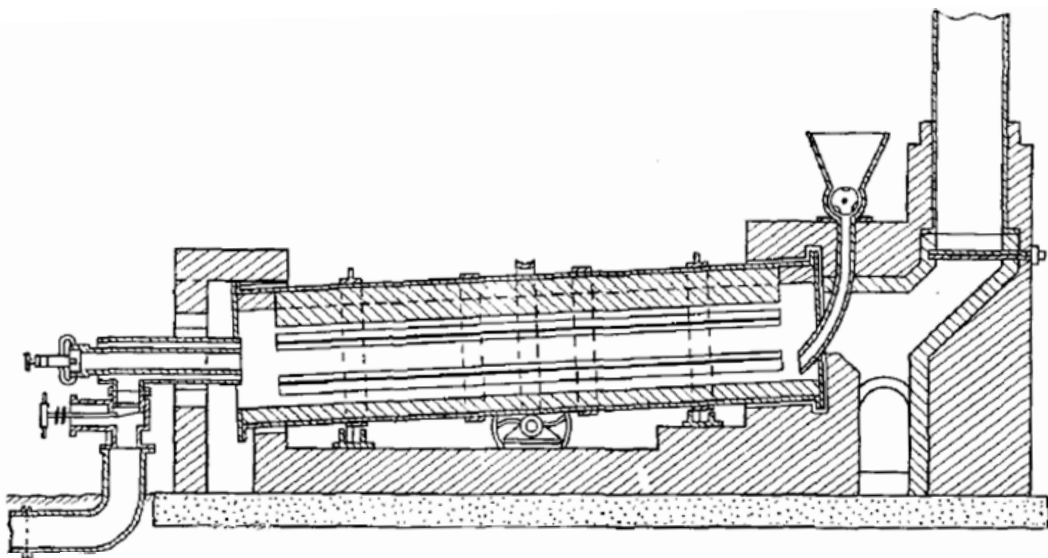


Рисунок 2.1 – Перша обертова піч з патента Ренсома

Ця піч опалювалась газом, так як в той час пиловугільне паливо було відсутнє. Такі обертові печі мали діаметр 1,8–2 м, довжину від 20 до 25 м, продуктивність від 30 до 50 т/добу [2].

Робота печей відбувається в агресивних умовах при підвищених температурах, тисків та запиленості. Як відомо, механізм приводу – це основний елемент обертових печей. Система з електродвигунів, редукторів, привідних валів та вінцевих шестерень має багато складових, кожна з яких має відповідати високим вимогам щодо надійності та довговічності. Також, враховуючи сучасні реалії кожен оберт печі повинен виконаний з максимальною економічною вигодою. Відповідно удосконалення приводу є важливою науково-технічною задачею.

## **2.2 Вибір і обґрунтування модернізації**

Під час виконання магістерської дисертації було проведено патентний пошук конструкцій приводу обертових печей.

Пошук проводився на наступних відкритих ресурсах:

- <http://www1.fips.ru>
- <http://www.epo.org>
- <http://www.uipv.org>
- <https://patents.google.com>

Було знайдено кілька технічних рішень для модернізації приводу на основі патентів, деякі з них детально описані нижче. Решта приведені в Додатку Д1.

В патенті 5 запропоноване технічне рішення полягає в тому, що ротор електродвигуна безпосередньо встановлюється на піч, а статор – нерухомо кріпиться на станині, яка встановлена на фундамент. Це дозволяє суттєво спростити привід обертової печі, підвищити довговічність та надійність машини.

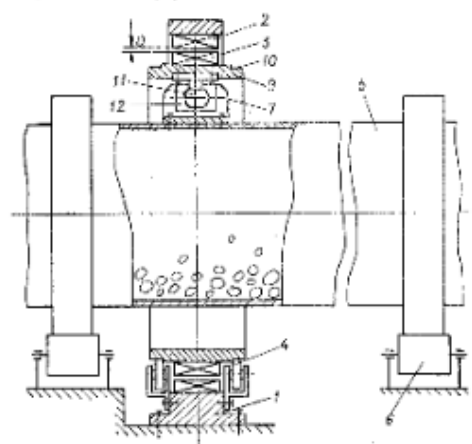
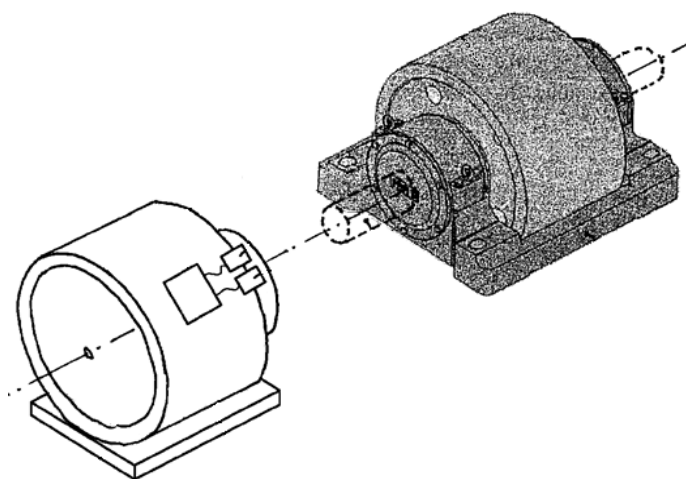


Рисунок. 2.2 – Схема конструктивного рішення встановлення електродвигуна

Дане технічне рішення досягається тим, що ротор електродвигуна (3) встановлений безпосередньо на корпусі (1) та на підтримуючих роликах (4) на статорі (2) який закріплений на станині (13) і з'єднаний з корпусом (1) за допомогою сферичних пальців (11), взаємодіючих з плаваючими повзунами (12), які встановлені на корпусі печі (1).

Даний винахід є революційним, так як дозволяє плавно значно підвищити економічну доцільність печей, надійність, довговічність та облегшити експлуатацію та обслуговування. Також слід зауважити, що даний тип приводу дозволяє зробити піч «розумною». Це відкриває шлях для повної автоматизації процесу виготовлення клінкеру.

Не менш важливим є те, що дане конструктивне рішення дозволяє прибрати втрати в зубчастих та фрикційних передачах, а, отже, й збільшити ККД, та збільшити надійність приводу. Також це дозволяє точно контролювати оберти печі, плавно її запускати та зупиняти без використання муфт, а значить і режими руху матеріалу в ній, що дозволяє покращити якість готової продукції.

При неможливості використанні першої модернізації за будь яких умов та враховуючи економічні можливості невеликого підприємства по виготовленню клінкеру був обраний альтернативний варіант модернізації, основою якого є патент № u201105304.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищити довговічність зубчатої передачі та збільшити термін служби з'єднувальних елементів. Поставлена задача вирішується тим, що з'єднання зубчатого вінця з корпусом барабана містить пружні елементи, які одним кінцем з'єднані з корпусом барабана, а другим кінцем - з вінцевою шестірнею та виконані в вигляді складеного по товщині пакета. При цьому для компенсації напружень при запуску та зупинці печі пружні елементи виконані зі згином, величина якого не менша кроку зуба вінцевої шестірні.

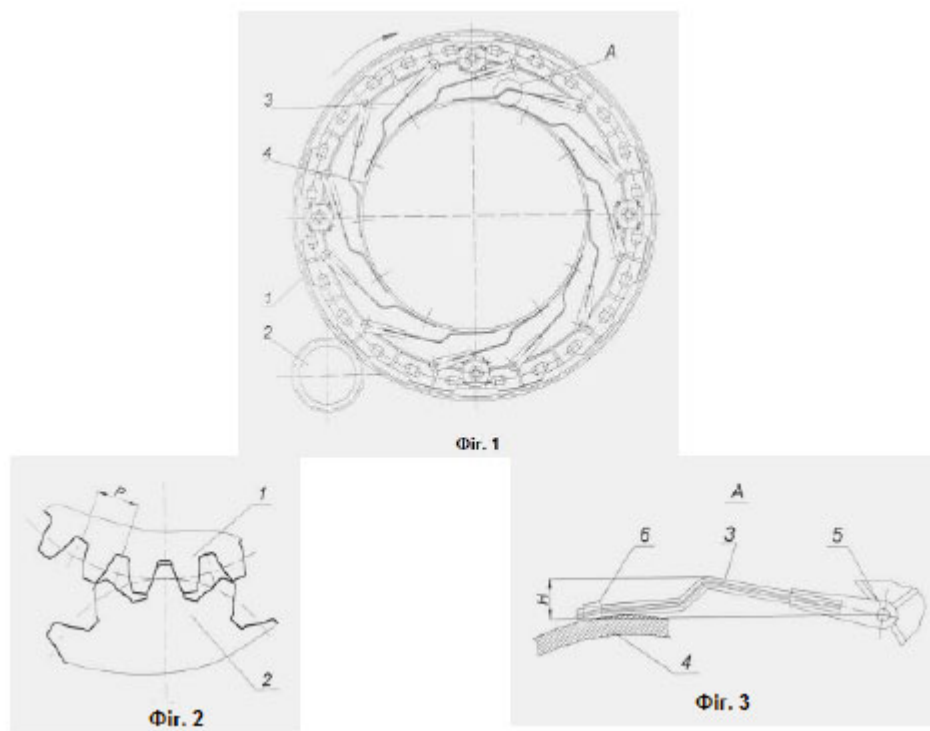


Рисунок. 2.3 – Фігури патента № u201105304

Перераховані вище ознаки складають суть корисної моделі. Корисна модель пояснюється рисунком, де на Фіг.1 показано загальний вигляд вузла з'єднання вінцевої шестірні з корпусом барабана печі; на Фіг.2 - схема зубчатої передачі вінцевої та підвінцевої шестірні, на Фіг.3 - виноска А з Фіг.1 - пружний елемент



з'єднання вінцевої шестірні з корпусом барабана печі. Вінцева шестірня 1 з'єднується з корпусом печі 4 за допомогою пружних елементів 3, які мають згин величиною  $H$ . Один з кінців пружних елементів кріпиться до вінцевої шестірні 1, а інший – до корпуса печі 4 за допомогою шарнірів 5 і притискного пристрою 6. Обертання печі відбувається за допомогою підвінцевої шестірні 2, з використанням зубчатої передачі. Шестерня вінцевої шестерні 1 має крок зуба  $P$  який складається з ширини зуба та відстані між ними.

Корисна модель працює таким чином. Обертний момент при пуску та зупинці печі передається від підвінцевої 2 до вінцевої шестірні 1 з допомогою зубчатої передачі. Підвінцева шестірня передає крутний момент на вінцеву, яка має крок зуба  $P$  що складається з ширини зуба та відстані між зубами.

### **3. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ**

Автоматизація виробничих процесів є найважливішою задачею істотного підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, що випускається, чи збереження зменшення витрати енергії, збереження кількості обслуговуючого персоналу, поліпшення організації виробництва, підвищення надійності роботи.

Автоматизація дає можливість звільнити людини від особистої участі у виробництві, а функції керування технологічним процесом, механізмами, машинами, передати автоматичним пристроям [6].

Комплексна автоматизація процесів і апаратів хімічної технології припускає не тільки автоматичне забезпечення нормального ходу цих процесів із використанням різних автоматичних пристроїв, але й автоматичне керування пуском і зупинкою апаратів для монтажних робіт і критичних ситуацій.

Успішне рішення усіх вище перерахованих задач досягається впровадженням у виробництво автоматичних систем керування й контролю.

Система автоматичного керування процесу випалу сировинної суміші призначена для одержання якісного клінкера при заданій продуктивності печі і мінімальній питомій витраті тепла.

#### **3.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення клінкера як об'єкта автоматизації**

Обертova піч - це тепловий агрегат неперервної дії. Завдяки обертанню печі і її нахилу до обрію 4%, шлам, що надходить безупинно у верхній кінець печі проходить через окремі зони робочого простору, обпікається й у виді клінкера виходить з печі в холодильник. Необхідно автоматизувати подачу сировини в піч відповідно до її продуктивності, тобто зі швидкістю обертання.

При „сухому” способі виробництва матеріал подається в піч у виді сухої сировинної муки. Перед подачею в піч попередньо підігрівається у циклонних теплообмінниках потоком гарячих газів, що виходять з печі. При сухому способі обертovі печі виконуються короткими і температура газів, що відходять не

перевищує  $1100^{\circ}\text{C}$ . Сировинна мука подається після дозування транспортуючими пристроями у вихідний газохід циклона ступеня III і завдяки високій швидкості потоку димових газів у газоходах ( $12\ldots 20\text{ м/с}$ ) переноситься у циклон ступеня IV. Тут сировинна мука улавлюється і поступає у вихідний газохід ступеня II, звідки потім переноситься у циклон ступеня III. Між гарячими газами і сировинною сумішшю проходить інтенсивний теплообмін, який такимож чином здійснюється і в циклонах ступенів II, I. З циклона ступеня I матеріал подається в піч. Пройшовши чотири ступеня циклонів, сировина нагрівається до  $700\ldots 800^{\circ}\text{C}$  і частково декарбонізується. Кінцева декарбонізація і процеси клінкероутворювання відбуваються у печі.

Температура димових газів на виході батареї циклонів ступеня IV не перевищують  $300^{\circ}\text{C}$ . В охолоджувачі клінкер охолоджується до температури  $70 - 90^{\circ}\text{C}$ .

Контроль необхідно здійснювати за температурами димових газів по таким зонам:

I - зона сушіння

II - зона кальцинування

III - зона спікання

Регулювання температури проводимо в зоні спікання, для контролювання вологості шламу – технічного параметру співвідношення газ та повітря.

### **3.2 Опис розробленої схеми автоматизації процесу випалу клінкеру**

Регулювання частоти звертання головного привода печі.

Сигнал з тахогенератора (1-1) надходить на вольтметр (1-2). Вихідний сигнал з якого поступає на електронний регулятор (1-3), сигнал з якого йде на задатчик виконавчого механізму (1-4).

Включення димососа.

Електродвигун димососа включається в живильну мережу через магнітний пускач (2-1) за допомогою кнопки (2-2), установленної на щиті керування.

Витрата шламу.

Витрата регулюється за допомогою вагового витратоміра (3-1), сигнал з витратоміра йде на вторинний прилад типу ЕПІД (3-2), де він реєструється, і сигнал з якого надходить на керуючий виконавчий механізм (3-3).

Регулювання витрати газоповітряної суміші.

Сигнал датчиків витрати повітря (8-1) і газу (8-7) поступають на прилад (8-2), де порівнюється поточне співвідношення повітря-газ з заданим; в залежності від цих сигналів, видається відповідний корегуючий сигнал на приводи (8-5, 8-7)

Регулювання температури газів, що відходять, у пиловій камері.

Сигнал з термопари (4-1) надходить на бесшкальний мостовий перетворювач (4-2), відкіля попадає на потенціометр (4-3) і регулятор (4-4). Регулятор (4-4) впливає на перемикач режиму роботи (4-5) Керуючий виконавчим механізм на трубопроводі (4-6) [6].

Регулювання вологості шламу.

У корпусі печі вбудовано детектуючий пристрій (5-1), сигнал з якого надходить на електронно-вимірювальний блок (5-2), встановлений на щиті.

Регулювання температури матеріалу в зоні кальцинування.

Сигнал про температуру з термопари (6-1) надходить на бесшкальний мостовий перетворювач (6-2) з нього на потенціометр (6-3). Вихідний сигнал останнього йде на електронний регулятор (6-4). Сигнал з регулятора надходить на виконавчий механізм (6-5), встановлений на газовому трубопроводі.

Регулювання температури в зоні спікання.

Чутливий елемент колірного пірометра (7-1) подає імпульс на вхід регулятора, вбудованого в електронний потенціометр (7-2), що у випадку розбалансу вхідних величин подає сигнал на регулятор температури (6-3) і через перемикач режиму роботи (6-4) впливає на виконавчий механізм заслінки газопроводу (6-5).

Витрата клінкера.

Витрата контролюється за допомогою вагового витратоміра (9-1), встановленого в розвантажувальній голівці, сигнал з витратоміра йде на вторинний прилад типу ЕПІД (3-2), де він реєструється. У випадку вілмінності поточного сигналу і заданного, прилад видає сигнал на виконуючий механізм. Відбувається корегування масової витрати, до тих пір, доки поточне значення не буде рівним заданому.

Контроль горіння палива

У випадку затухання полум'я датчик горіння (10-1) подає сигнал на вторинний прилад (10-2), подається звукова та візуальна сигналізація [6].

### **3.3 Висновки щодо виконання поставлених задач автоматизації**

За допомогою застосування сучасних методів та засобів автоматизації довелося досягти виконання основних поставлених цілей. Були автоматизовані процеси подачі та контролю за витратами матеріалів, які використовуються в процесі випалу клінкера; регулювання температур в зонах печі; вмикання пристроїв та регулювання їх характеристик; процеси регулювання вмісту вуглекислого газу в відходячих газах та контролю вологості шламу. Внаслідок цього підвищилась економічність, та ефективність виробничого процесу, а також безпека на виробництві та його екологічність.

### 3.4 Специфікація на прилади і засоби автоматизації

поз.	Місце установки	Найменування параметрів	Граничне значення	Найменування і характер	Тип моделі	К-ть
1	Головний редуктор	Частота обертання	0-5 об/хв	Тахогенератор	ТГ-200	1
2	Головний редуктор	щит	-	Самописний вольтметр	МСЦПР-53	1
3	Головний редуктор	щит	-	Електронний регулюючий прилад	РПИБ-Т2	1
4	Головний редуктор	щит	-	Задатчик електронного регулятора	РПИБ-Т2	1
1	Магнітний пускач	Димосос	-	Контактор магнітний	КМ-6	1
2	Магнітний пускач	щит	-	Кнопка керування	-	1
1	Витрата шламу	Шламопровід	100 м3/год	Індукційний витратомір	ИР-51	1
2	Витрата шламу	Щит	-	Вторинний прилад електронний показуючий з дисковою діафрагмою	ЭПИД	1
3	Витрата шламу	Шламопровід	-	Однооборотний виконавчий механізм	МЭО-1000/250	1
1	Температура газів, що відходять	Вихідна газова камера	100÷1500 С	Термопара хромель-копелева подвійна, монтажна довжина 3200м, матеріал захисної арматури – сталь 1×18Н9М	ТХК-631	1
2	Температура газів, що відходять	Пилова камера	0-5 ма	Бесшкальний мостовий перетворювач	ПТ-ТС-62	1
	Температура газів,	Щит	0÷4000С	Потенціометр	ПСР-09	1

3	що відходять			автоматичний самописний із двухпозиційним регулятором		
4	Температура газів, що відходять	Щит	-	Електронний регулюючий прилад	РПИБ-Т2	1
5	Температура газів, що відходять	Щит	-	Перемикач режиму роботи	ПМТ	1
6	Температура газів, що відходять	Трубопровід	-	Однооборотний виконавчий механізм	МЭО- 1000/250	1
1	Вологість матеріалу	Корпус печі	0÷5 0%	Детектуючий пристрій	ДУ	1
2	Вологість матеріалу	Щит	-	Електровимірювальний блок (нейтральний влагометр “Нива-2”)	ЭИБ	1
1	Температура матеріалу в зоні кальцинування	Корпус печі	950 <sup>0</sup> С	Термопара хромель- алюмінієва. Матеріал – сталь Х25Т.	ТХА-ХІІІ	1
2	Температура матеріалу в зоні кальцинування	Корпус печі	0-5 ма	Бесшкальный мостовой перетворювач	ПТ-ТС-62	1
3	Температура матеріалу в зоні кальцинування	Щит	0÷11000С	Потенціометр автоматичний самописний із двухпозиційним регулятором	ПСР1-15	1
4	Температура матеріалу в зоні кальцинування	Щит	-	Електронний регулюючий прилад	РПИБ- ІVФ	1
5	Температура матеріалу в зоні кальцинування	Газопровід	-	Однооборотний виконавчий механізм	МЭО- 1000/250	1
1	Температура в зоні спікання	Корпус печі	1300- 1500 <sup>0</sup> С	Колірний пірометр	“Спектроп ир-10”	1

2	Температура в зоні спікання	Щит		Потенціометр автоматичний самописний із двухпозиційним регулятором	ПСР1-03	1
1	Витрата грючої суміші			Звужуючий пристрій	ЗвП	1
2	Витрата грючої суміші			Дифманолметр	Дм 4	1
3	Витрата грючої суміші			Розл. співвідношення		1
4	Витрата грючої суміші			Дифманолметр		1
5	Витрата грючої суміші			Виконуючий механізм		1
6	Витрата грючої суміші			Виконуючий механізм		1
1	Витрата клінкера			Тензометричний датчик		1
0-1	Контроль горіння палива			Датчик горіння		1
0-2	Контроль горіння палива			Вторинний прилад		1



#### **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Термін «охорона праці» у вузькому розумінні завжди означав створення для працівників здорових й безпечних умов праці. В Україні основним нормативним документом, що регламентує питання охорони праці на виробництві є Закон України «Про охорону праці». Цей Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці.

У даному розділі зазначені шкідливі виробничі фактори, які наявні при обслуговуванні обертової печі для випалу цементного клінкеру, та розроблені заходи по їх усуненню.

В наступних пунктах розглянуті такі небезпечні умови праці, що присутні на робочому місці оператора по обслуговуванню обертової печі:

- виробничий шум;
- вібрація;
- небезпека ураження електричним струмом;
- запиленість повітря;
- пожежна небезпека.

#### 4.1 Виробничий шум

Насичення виробництва машинами і механізмами супроводжується інтенсивними шумом, які справляють негативний вплив на працездатність і здоров'я працівників. Механічні коливання вузлів і деталей викликають коливання повітря і сприймаються органами слуху людини як звуки. Комплекс хаотичних звуків, різних за частотою та інтенсивністю, які викликають неприємні суб'єктивні відчуття, називається шумом [8].

При роботі обертової печі шуми являються непостійними, рівень шуму яких за повний робочий день при роботі технологічного обладнання змінюється більш ніж на 5 дБА.

Ступінь негативного впливу шуму залежить від сили і частоти звуку, тривалості його дії, фізичного і психічного стану людини.

Шкідливий вплив виробничого шуму виявляється як у вигляді специфічного ушкодження органів слуху, так і у вигляді порушень багатьох інших органів, в першу чергу центральної нервової системи. Інтенсивний виробничий шум призводить до часткової або повної втрати слуху. Зміни слуху настають при дії шуму більше 80 дБ і відбуваються протягом 3—5 років залежно від фізичного стану працівника.

Класифікація шуму:

- за характером спектра — широкосмуговий з безперервним спектром більш як одна октава і тональний, у спектрі якого спостерігаються значні дискретні тони;
- за характеристикою часу — постійний, рівень звуку якого за восьмигодинний робочий день змінюється щонайбільше на 5 дБ, і непостійний, рівень звуку якого за робочий день такої самої тривалості змінюється більш як на 5 дБ.

Непостійний шум, у свою чергу, поділяється на:

- коливний, рівень звуку якого безперервно змінюється;
- переривчастий, рівень звуку якого східчасте змінюється (на 5 дБ і більше), причому тривалість інтервалів, протягом яких рівень звуку залишається постійним, становить 1 с і більше;
- імпульсний, що складається з одного або кількох звукових сигналів, кожний тривалістю менше 1 с.

Під впливом шуму відбуваються зміни не тільки в слуховому центрі нервової системи, але і в тих відділах, які регулюють такі життєво важливі функції, як кровообіг, дихання, травлення, кровотворення, рухову діяльність та інші. Це зумовлено тим, що нервові імпульси від органів слуху посилюються ретикулярною формацією і поширюються по всьому мозку.

Так як при роботі обертової печі шуми непостійні, то максимально встановлені рівні звуку на робочих місцях відповідають величині 80 дБ. При такому рівні звуку забезпечується збереження слуху працюючих протягом 20 років. Основними напрямками боротьби з шумом на виробництві є:

- розробка і впровадження заходів технічного характеру, які виключали б причини генерування шуму;
- виведення персоналу із зон з високим рівнем шуму за рахунок впровадження дистанційного управління;
- впровадження фізіологічно обґрунтованих режимів праці і відпочинку;
- застосування індивідуальних захисних засобів.

Одним з найпростіших та економічно доцільних способів зниження шуму є застосування методу звукоізоляції. Фізична суть звукоізоляції полягає в тому, що найбільша частина падаючої звукової енергії відбивається від спеціально виконаних огорож і тільки незначна частина проникає через огорожу.

Істотно знизити шум в приміщенні, де працює оператор, можна, якщо на його шляху поставити ізолюючі перешкоди: стіни, перегородки, перекриття, звукоізолюючі кожухи та екрани [8].

Рівень звукового тиску та еквівалентні умови звуку 60 дБА для постійних робочих місць при працюючій печі не повинні перевищувати припустимих величин.

При роботі обертової печі рівень звуку досягає значення 75 дБА .

Таким чином, фактичний рівень звуку нижче, ніж припустимий.

## **4.2 Вібрація**

Джерелом вібрації являються: електродвигун і обертаючі частини лінії. Зусилля вібрації починається з неточності установки обертаючих частин, з нещільного з'єднання корпусів обертаючих частин до фундаменту. У даному випадку спостерігається технологічна вібрація. Робітник слабо піддається вібрації, бо знаходиться далеко від основи машини – біля пульта управління. Таким чином спільна вібрація не діє на організм оператора. Рівень технологічної вібрації в виробничому приміщенні не перевищує 90 дБ при частоті 4 Гц.

Засоби індивідуального віброзахисту – це спеціальне взуття на вібропоглинаючій платформі, віброзахисні рукавиці, наколінники, нагрудники, пояси, спеціальні костюми, застосування технологічних процесів з низькими рівнями вібрації і шуму; впровадження дистанційного керування, що виключає постійне перебування працюючого у зоні небезпечних рівнів вібрації; дотримання раціональних режимів праці й відпочинку; огорожувальні засоби, які перешкоджають проникненню людини до зони дії вібрації, тощо. Віброгасіння – це зниження рівня вібрації машин та механізмів застосуванням додаткових пристроїв. Віброгасіння може бути статичним (спеціальні фундаменти для верстатів, моторів, пневматичні та пружинні підвіски в автомобілях) і динамічним (агрегати з дискретним збурюючим впливом, віброгасіння маятникового, пружинного, плаваючого та камерного типів) [8].

Сумарний час роботи в контакті з вібрацією не перевищує 2/3 робочої зміни. Тривалість неперервної дії вібрації не перевищує 10-15 хв. При такому режимі обідня перерва не менше 30 хвилин.

### 4.3 Електробезпека

Приміщення, в якому працює оператор по обслуговуванню обертової печі, відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою враження електричним струмом.(ПУЕ)

1. Для живлення установки використовується трифазна напруга 220/380 В та з частотою 50 Гц. з ізоляцією.

2. Основні причини нещасних випадків від дії електричного струму:

- випадковий дотик, наближення на небезпечну відстань до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;
- поява напруги дотику на металевих конструктивних частинах електроустаткування у результаті пошкодження ізоляції або з інших причин;
- поява напруги на відключених струмопровідних частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки;
- виникнення напруги кроку на поверхні землі через замикання проводу на землю.

Для приміщень з підвищеною небезпекою характерно наявність одного з слідуючих умов: сирість чи струмопроводячий пил; струмопроводяча підлога, висока температура; можливість одночасного дотику людини до маючих з'єднання з землею технологічних апаратів, механізмів і т. п. – з однієї сторони, і до металевих корпусів електрообладнання - з другої.

Безпека експлуатації електрообладнання забезпечується комплексом заходів, які можна поділити на три класи [8]:

1. Технічні захисні заходи, які запобігають дотик людини до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою.

Дані заходи не допускають людину у небезпечну зону, де діють небезпечні та шкідливі виробничі фактори. До них відносяться: огорожі, висота розміщення не огорожених струмоведучих частин, ізоляція струмоведучих частин, блокування, зорова інформація про безпеку.

2. Технічні захисні заходи, які знижують ступінь поразки людини при дотику його до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, ізолюючі штанги, клещі, діелектричні рукавиці, діелектричне взуття, ізолюючі коврики.

3. Організаційні захисні заходи.

Організаційні захисні заходи складаються з вимог технічної експлуатації та технічної безпеки при організації обслуговування електричних мереж та електроустановок.

Вимогою до персоналу є оцінка придатності персоналу при прийманні на роботу та періодичного медичного посвідчування.

Організаційними заходами, що забезпечують безпеку при виконанні робіт у електроустановках є: оформлення роботи, допуску до роботи, нагляд під час роботи, оформлення перерв та переведень на інші види робіт.

Обов'язковим заходом захисту у приміщеннях з підвищеної небезпекою є захисне заземлення, що усуває небезпеку поразки людей електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, тобто при замиканні на корпус.

У вибухонебезпечних приміщеннях заземлення електроустановок виконується при будь-якій напрузі живлення.

Захисне заземлення - навмисне з'єднання неструмоведучих металевих частин електрообладнання, які можуть опинитись під напругою, з землею або її еквівалентом для захисту людей та тварин.

З'єднання металевих струмоведучих частин обладнання з землею здійснюється за допомогою заземлюючого пристрою. Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювача (металевих провідників, що знаходяться у безпосередньому співдотику з землею,) та заземлюючих провідників, що з'єднують заземлюючі частини електроустановки з заземлювачем.

У випадку, якщо заземлення є ненадійним чи важковиконуємим заходом, застосовується захисне відключення, що забезпечує автоматичне вимикання електроустановки при виникненні в ній небезпеки поразки електричним струмом.

Така небезпека може виникнути, зокрема, при замиканні фази на корпус електрообладнання, при зниженні опору ізоляції фаз відносно землі, нижче визначеної межі, дотику людини до струмоведучої частини, що знаходиться під напругою.

#### **4.4 Запиленість повітря**

Робота машиніста по обслуговуванню обертової печі відноситься до категорії легких фізичних робіт з енерговитратами 630 кдж/год [8]. Приміщення відноситься до приміщень без надлишку явного тепла до 84 кдж/м<sup>3</sup>·год.

Фактичні параметри метеоумов забезпечуються наступними заходами:

у холодний час року підігрів приміщення батареями з теплоносієм водою, нагрітої до  $t = 60^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ;

у теплий час року загальнобмінною вентиляцією через верхні прорізи вікон, через двері.

Кімната оператора управління знаходиться в приміщенні. Приймаємо розміри кімнати такими:

$S = 6 \times 12 \times 4 = 288 \text{ м}^3$  Туди може попадати цементний пил.

Для такої кімнати вибираємо вентилятор МЦ-4, кількість обертів  $n = 1410$ , КПД = 0,35.

#### 4.5 Освітлення

Для оператора по обслуговуванню обертової печі характерний VI розряд зорової роботи [8]. При такому розряді характерними вимогами до освітлення є: рівномірне, природне та загальне штучне освітлення з локалізованим розміщенням світильників  $E_{\text{пар}}=200$  лк.

Штучним джерелом освітлення промислового приміщення є дугові ртутні лампи ДРЛ-400 потужністю  $N=400$  Вт, у кількості  $n=4$  шт. і забезпечують світловий потік  $\Phi=19000$  лм,  $E_{\text{фа}}=250$  лк.

Для зовнішнього освітлення використовуються світильники типу «Широкоизлучатель» ДБНВ 2.5.28-2006

Для охоронного, аварійного і ремонтного освітлення використовуються лампи розжарювання СПО-36/100,  $N=40$ Вт,  $\Phi=3600$ лм, тому що вони вигідні в експлуатації, не вимагають додаткових пристосувань для включення в мережу. Світильники аварійного освітлення живляться від незалежного джерела.

Для місцевого освітлення використовується вакуумна лампа розжарювання НВ, що дає освітлення  $E=200$ лк.

Для контролю освітленості використовують люксметри Ю-116 не рідше ніж один раз у рік і кожного разу після ремонту освітлювальної установки [8].

#### 4.6 Надзвичайні ситуації

До надзвичайних ситуацій віднесемо пожежну небезпеку, так як обертова піч працює з застосуванням газу. Приміщення, в якому працює машиніст, відноситься до вибухонебезпечної зони класу 2, де вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів (розрив трубопроводів високого тиску або резервуарів значної місткості) не повинні розглядатися під час проектування електроустановок [7].



Також причинами виникнення пожеж є:

- перегрузки;
  - короткозамикаючі струми;
  - порушення технологічного режиму
  - несправність обладнання
  - самозаймання матеріалів
  - порушення графіка планового ремонту
- великий перехідний опір

Заходи:

- датчик сповіщувач;
- можливість (місце) паління, застосування відкритого вогню та побутових на-грівальних приладів;
- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних (в тому числі зварювальних) робіт;
- правила проїзду та стоянки транспортних засобів;
- місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання);
- порядок прибирання горючого пилу та відходів, зберігання промасленого спец-дягу і шмаття, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень;
- порядок відключення від мережі електрообладнання у разі пожежі;
- порядок огляду і зачинання приміщень після закінчення роботи;
- порядок проходження посадовими особами навчання та перевірки знань з по-жежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення;;
- порушення технологічного режиму

Пожежна безпека забезпечується засобами пожежного захисту які відповідають вимогам ГОСТ 12.1.004-85.

Для забезпечення пожежної безпеки приміщення обладнано автоматичною пожежною сигналізацією. Система пожежної сигналізації складається з пожежних повідомлювачів комбінованих, реагуючих на дим і тепло. Приміщення обладнане також засобами пожежогасіння. Для безпечної евакуації людей у випадку пожежі в приміщенні є два еваковихода в протилежних кінцях споруди. Максимальна допустима відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу є 60 м:

Ширина перших заходів пожежотушіння для проектуємої ділянки відносяться і внутрішні пожежні крани повинні бути розташовані на висоті 1,34 м від підлоги на сходах.

Система пожежогасіння забезпечується підвісними балонами, що кріпляться до стелі і мають площу гасіння 12 м<sup>2</sup>, їх у виробничому приміщенні розташовано 50 одиниць. Балони за принципом дії спрацьовують при підвищенні температури до 80°C – пвідбувається плавлення і руйнування легкоплавкого замочка [7].

Вимоги до техніки безпеки при роботі з газовими печами:

1. На паливопроводі кожної печі повинно бути встановлено два крана: один — біля горілки, другий — за капітальною стіною чи в доступному місці на відстані не менше 15 м від печі.
2. Продувні свічки повинні бути на 2 м вище, ніж найвищі будівлі, розташовані від свічок не ближче, ніж на 50 м.
3. При наявності витоку газу слід негайно припинити експлуатацію газопроводу і терміново прийняти заходи до ліквідації витоку. У газопроводах забороняється підтримувати робочий тиск вище встановленого, відміченого на шкалі манометрів.

4. В кожній газовій печі на випадок падіння тиску газу нижче допустимого або припинення подачі повітря має бути встановлений клапан, що автоматично перекриває подачу газу.
5. Електроустаткування і освітлювальні прилади ділянок, де розташовані газові печі, мають бути виконані так, щоб запобігати можливості вибуху.
6. При запаленні газових пальників слід спочатку ввести в топковий простір печі факел, що горить, укріплений на довгому стрижні, після чого відкрити кран стислого повітря, а потім— газу. При припиненні роботи пальників спочатку треба закрити кран газу, а потім — повітря.
7. Якщо при запаленні пальників газ згасне, то необхідно припинити його подачу і провітрити топку, після чого знову пустити газ і запалити його.
8. Перед початком роботи печі ретельно продути газопровід газом, а піч і повітропровід — повітрям, випускаючи газоповітряну суміш назовні через продувочні свічки.
9. Забороняється продувати газопровід через пальники в топочний простір печі. При падінні тиску в газопроводі нижче 40 мм вод. ст. користування газом забороняється.

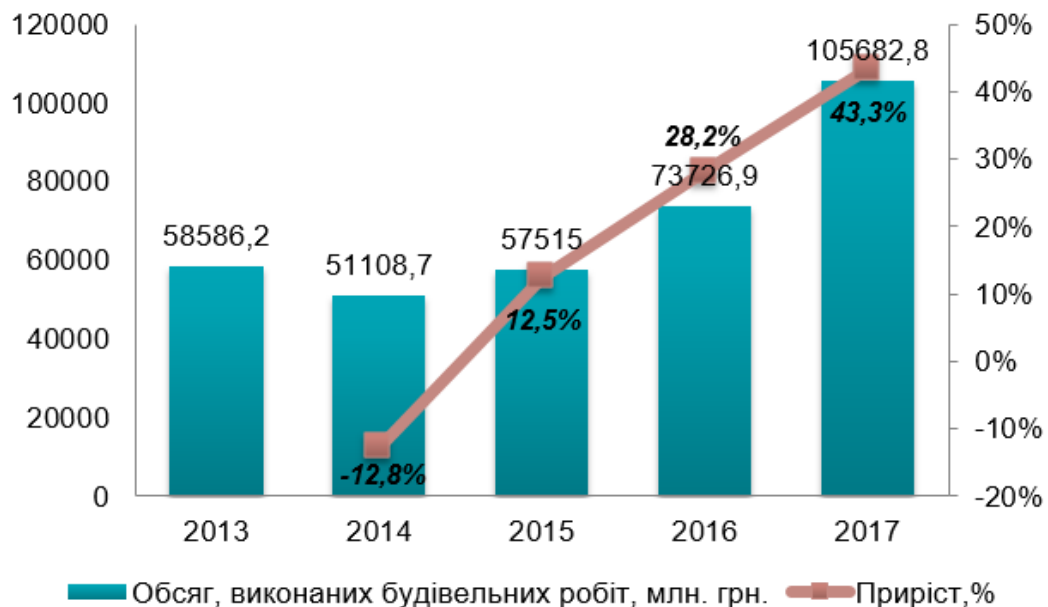
## 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 5.1 Опис ідеї проекту

Перспективним напрямком розвитку промисловості України є реанімування виробництва целенту з використанням обертових печей.

Перевагами використання є наявність уже існуючих залізничного та автомобільного сполучень та, як би це не було, наявність збанкрутілих заводів, які передані місцевим громадам.

**Динаміка за обсягом виконаних будівельних робіт в Україні в грошовому вираженні в 2013-2017 рр., млн. грн**



Отже, необхідно на хвилі зростання обсягів будівництва покращити та здешевити продукцію, що надасть компанії значних конкурентних переваг.

Опис ідеї стартап-проекту приведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Користь для користувача
Відновлення та оновлення вже збанкрутілих заводів, які знаходяться на обліку громад	Нові режим роботи і конструкція обертових печей та інших трубчастих апаратів	Зменшення енерговитрат на виготовлення
		Дешева вартість приміщень
		Вища якість продукції
	Підвищення якості змішування готового продукту	Більш конкурентноспроможний продукт
		Покращення іміджу, нові робочі місця

Для виготовлення клінкеру пропонується встановлення нових двигунів на вже існуючі обертові печі.

### **План розвитку**

2018-2019 – заснування компанії.

2018-2020 – відновлення роботоздатності підприємства, модернізація

2021-2022 – налагодження виробництва, пошук клієнтів та партнерів.

2019-2025 – реклама в різних її проявах.

2019-2032 – за цей час підприємство знаходить постійних клієнтів і стає прибутковим.

2021 – 2025 – відкриття заводу в Україні, націленість на розвиток закордоном, продаж франшизи.

## Товарний портфель (асортимент послуг та товарів)

1. Виробництво високоякісного клінкеру та іншої сировини
2. Ремонт типового обладнання інших підприємств;
3. Продаж повноцінних великогабаритних установок та лабораторних установок виготовлення клінкеру;
4. Експорт продукції за кордон;
5. Продаж франшизи.

Корпоративні стандарти. Позмінний графік роботи, 3 зміни на день. Можливість віддаленої роботи працівників, які спілкуються з клієнтами, за умови достатньої продуктивності. Інтенсивна реклама по Україні, на протязі 8 місяців. Потім не нав'язлива реклама протягом 12 місяців, аналіз ефективності рекламної кампанії. Компанія має стати дистриб'ютором будівельного обладнання та готового цементного клінкеру в перші роки фінансування, щоб зменшити борг. Кожен робітник має завдання на початку дня та має свої статистики. Звісно, він звітує в кінці робочого тижня. Тиждень починається з середи. Виплата заробітної плати 4 рази на місяць. Ставка + відсоток від плану. Розвинута "горизонтальна взаємодія". Проводяться для студентів та не тільки ознайомлювані семінари в технічних ВНЗ України.

Ресурси і обмеження: ресурсами є вже готові закинуті заводи, які закуповуються, а також необхідне для двигуни для функціонування печей та інші супутні розхідні матеріали. Перший двигун буде встановлено на експериментальну піч а другий буде досліджено, внесено поправки під наш клімат та виготовлено на самому заводі. Обмеження: якщо компанія щомісячно не зможе продати 30-35% від задуманого, то аналізується обраний напрям розвитку компанії та корегується з врахуванням помилок. При недостатньому фінансуванні змінювати договори з постачальниками сировини, брати її під реалізацію. Кошти, які повинні бути витрачені на рекламу, витрачаються за прямим призначенням та визначаються як 14% від доходу.

Канали розподілу: продаж товарів відбувається через мережу гіпермаркетів, інтернет, а також через офіси, які розміщуються у промислових центрах великих

міст. На околицях реклами більше, ніж в центрі. Продаж сировини здійснюється на взаємовигідних умовах в такі сітки магазинів як Епіцентр та Леруа Мерлен.

Поведінка споживача: споживачі звертають увагу на співвідношення якості до вартості продукту і шукають найбільш якісний продукт за найменшу вартість.

Організаційно-правова інформація:

- форма власності – приватна;
- організаційно-правова форма – товариство з обмеженою відповідальністю;
- керівництво – демократичний

Ресурси:

- фінансові – необхідні кошти, яких вистачить на 1 рік стабільного функціонування підприємства, а також ще 14% цих коштів, які будуть використані на популяризацію і рекламу;
- складські потужності та виробничі– 2 обертові печі. Одна 4,5 на 80 метрів друга - 4,5 на 60.
- технології: використовуються обертові печі з модернізованими конструкціями. Також є регулятор економії надлишкових обертань установок, який був вдосконалений на основі німецького патенту;
- інформаційні: ЗМІ, борди, рекламні спільноти в інтернеті, новинні портали,;
- трудові: В сукупності 80 людей; є 3 зміни працівників.
- інтелектуальні: значна частка працівників з досвідом роботи на аналогічних посадах протягом декількох років, програми ротації для студентів.
- правові: юридичний відділ, який налічує 8 людей.

Таблиця 5.2 – Узагальнений список інформації

№ п/п	Необхідна інформація
1	Необхідний кваліфікований персонал для грамотного обслуговування машини.
2	Простіше не допустити проблему, ніж потім вирішувати її наслідки.
3	Необхідно мати декілька планів дій при непередбачуваних обставинах, які дають конкурентну перевагу у порівнянні з іншими компаніями.
4	Задля попередження нещасних випадків, необхідно встановлювати захист на кілька рівнів вищий ніж мінімально допустимий. Також необхідно контролювати виконання норм безпеки.

Таблиця 5.3 - Аналіз маркетингового середовища підприємства

Внутрішні фактори	Вплив фактору		Симптоми проблеми та можливості
	Можливості	Загрози	
Розлад в роботі установки	Досвід, зменшення аналогічних ситуацій в майбутньому	Невиконання плану	Ситуація наявна, оскільки її не було передбачено. Потрібно проаналізувати причину її виникнення, та як її виправити.
Нещасний випадок на виробництві	Встановлення додаткового захисту, приклад для інших працівників	Суд, погана репутація, ремонт установки, потрібен новий працівник,	Працівник не виконав вимог техніки безпеки, контроль за їх виконанням був недостатнім. Потрібно це виправити. Тоді аналогічних випадків не буде в майбутньому.
Різка зміна на ринку	Можливість випередити конкурентів, заявивши про себе унікальним товаром	Банкрутство	Відсутній план дій при такій ситуації. Однак є можливість покращити позицію на ринку та випередити конкурентів.



## Аналіз факторів макромаркетингового середовища

Таблиця 5.4 - Підсумкова таблиця чинників політико-правового середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення труднощів чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Зміна зміна оподаткування та законодавства	Вихід на інші ринки збуту	Загроза втратити свою позицію на ринку	Потрібно надати завдання юридичному відділу знайти спосіб зменшити оподаткування. Водночас із цим потрібно визначити що може приносити більший дохід, а що є не суттєвим і таким, що можна принести в жертву.
Погана репутація	Піар, нові клієнти, при умові, якщо компанія буде зберігати хорошу репутацію	Погана репутація може бути довгий час, частину клієнтів буде втрачен зменшиться, прибуток, менший потік кваліфікованих кадрів на виробництво	Потрібно мати гршовий запис на рекламу, а також необхідно заручитись підтримкою авторитетних людей та рекламних кампаній
Зміна внутрішньої політики компанії	Можливість створення розуміючого дружного та колективу, такого, який допомагає, правління	Велика імовірність погіршення ситуації, яку маємо на даний момент	Перш ніж починати зміни потрібно перейняти досвід інший компаній та добре все прорахувати. Також не потрібно слідувати дуже чітко плану, адже можна зробити краще, вносячи якісь корективи в процесі роботи.
Звинувачення в порушенні чинного законодавства підприємством	Можливість знайти схеми за якими відбувається порушення, а також недобросовісний персонал та позбутися його	Погана репутація штраф. В найгіршому варіанті виробництво можуть закрити.	Щоб попередити порушення закону з боку персоналу, потрібно ретельно перевірити схему роботи підприємства

Таблиця 5.5 - Підсумкова таблиця факторів економічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення труднощів чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Економічна криза	Можливість пристосуватись до нових тенденцій, закріпитись на ринку	Велика імовірність того, що підприємство понесе великі збитки, можливо навіть закриється	Проведення мозкових-штурмів, звернення до кризис-менеджера, , система заохочень для персоналу, який турбується управлінськими проблемами виробництва.
Витрати коштів, котрих можна уникнути	Експеримент: аналіз результату витрати коштів	Найгірший випадок – банкрутство.	Потрібно власноруч перевіряти на найнижчих рівнях. виробництва хоча б 1 раз в 2 тижні витрати та доходи Також створити схему на підприємстві, де всі один перед одним звітують.
Наявність товарного дефіциту	Можливість виробляти даний товар, або ж перепродавати	Є загроза недоотримати прибуток не знайшовши необхідний товар.	Використання практики дропшопінгу на перших кроках із попереднім укладанням договору та перевіркою стану та якості товарів та послуг.
Перенасиченість ринку	Чудовий шанс стати новатором у даній галузі та модифікувати надавані продукти та послуги	Можна бути непоміченим на ринку та стати банкрутом	Альтернативний метод вирішення проблеми – креативна реклама.

Таблиця 5.6- Підсумкова таблиця факторів демографічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Чисельність населення різко зростає	Можливість збільшити обіг фінансів	Кінцевий продукт конкурентів буде відрізнитись від запропонованого нами	Проведення соц. опитувань, кредит в банку на розвиток виробництва
Популяризація сімейного стану населення	Створення сприятливих умов для працівників, враховуючи їх побажання	Зменшення продуктивності підприємства	Створення філіалу за кордоном
Міграція населення	Розвідка про галузь та її стан за кордоном	Зменшення попиту, чисельності працівників та прибутковості,	Креативна реклама, зміна напрямку розробки

Таблиця 5.7 - Підсумкова таблиця факторів природного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Прикута увага до забруднення довкілля	Позиціонування підприємства як екологічного	Витрата значної частини грошей, без віддачі	Можна перестати випускати певну групу товарів на даному виробництві, але почати випускати на виробництві, яке знаходиться в іншому районі чи країні.
Природні катаклізми	Можливість почати все спочатку, проте з досвідом	Майже всі шанси не відновити виробництво	Запропонувавши хороші умови можна залучити гроші до реставрації виробництва з держбюджету,
Відкриття нових джерел фінансів	Зміна партнерів	Сировина може бути поганої якості	Частково можна перейти на нову сировину, проте значна частина виробництва не змінюється
Підвищення вартості енергоносіїв	Перепрофілювання виробництва пошук альтернативних джерел енергії, , перерозподіл коштів виробництва.	Велика витрата коштів,	Можна зробити диференціацію цін одних і тих самих товарів в залежності від місця продажу Ринок збуту можна змінити.

## Аналіз факторів мікроркетингового середовища

Таблиця 5.8 - Підсумкова таблиця впливу споживачів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Споживачів цікавлять послуги, які підприємство не надає	Доцільно розширити спектр послуг	Потік клієнтів може не відповідати розрахунковому	Закупка невеликої кількості товарів для швидкого збуту Розширення спектру послуг на декілька одиниць.
Споживачі скаржаться на високу ціну	Пошук шляхів надавати послуги та товари за нижчою ціною, з мінімальним негативним впливом на прибуток	Можна втратити велику частину клієнтів, якщо нічого не змінювати	Впровадження системи знижок для постійних покупців.
Споживачі скаржаться на погану якість товарів чи послуг	Покращення вже існуючих товарів створення нових	На пошук причин поганої якості може бути витрачено великий проміжок часу	Консультація з кваліфікованим фахівцем, який працював на багатьох етапах виробництва продукції
Невисокий попит на продукцію	Збільшити попит та прибуток в результаті переорієнтації виробництва	Зменшення клієнтури	Необхідно почати співпрацю з суміжними підприємствами Вдалий час для запуску рекламної кампанії..

Таблиця 5.9 - Підсумкова таблиця впливу конкурентів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Випуск конкурентами унікального товару	Можливість випуску унікальної продукції, який би конкурував з надприбутковими товарами	Перехід клієнтури до конкурентів	створення фірми-дистриб'ютора та перепродаж товарів конкурентів. Дослідження плюсів та мінусів надприбуткових товарів конкурентів з метою випуску подібних товарів під власним брендом.
Випуск конкурентами продукції, яка дуже схожі на товари нашої компанії	Можливість зайняти передову позицію на ринку, якщо обґрунтувати переваги власного продукту перед іншими та популяризувати його	Товар конкурентів може виштовхнути з ринку товар нашої компанії	Запропонувати ЗМІ та великим торговельним мережам вигідні умови співпраці.
Зміна конкурентами іміджу компанії	Можливість показати переваги компанії	Занадто потужна пропаганда негативного іміджу стосовно нашої компанії.	Визнання негативних сторін компанії як дійсних та запуск рекламної кампанії, де говориться про усунення виявлених недоліків та випуск хорошого продукту.
Промисловий шпідонаж конкурентами в нашій компанії	пропаганда негативної репутації для конкурентів	Втрата та цінної інформації цінного продукту, які в руках конкурентів значно знизять прибутки нашої компанії	Жорсткий контроль пропускнуго режиму Проведення власного шпідонажу на компанії, ретельний відбір кваліфікованих кадрів.

Таблиця 5.10 - Підсумкова таблиця впливу контактних аудиторій

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Нейтральна стаття про компанію в журналі	Збільшення клієнтури за рахунок піару	Загострення конкуренції із схожими підприємствами	Збільшення позитивних статей про компанію, які компанія буде фінансувати. Це призведе до збільшення клієнтури.
“Роздуття” негативних сторін компанії	Переорієнтація підприємства задля зведення негативних сторін до мінімуму.	Зниження замовлень в компанії Зменшення клієнтури та	Невдалий продукт не варто більше випускати, але можна випустити продукт, з врахованими недоліками попереднього продукту.
Розкриття в ЗМІ секрету технологічної схеми виробництва	Переорієнтація виробництва Піар для компанії та	Банкрутство компанії	Пропаганда інформації, яка б спростовувала розповсюдженню процесу виробництва продукції.
Контактні аудиторії не помічають наше підприємство	Можливість гучно про себе заявити, нестандартно поводитись на ринку.	Загроза бути непоміченим та недоотримувати прибутків	Можливість заснування власного рекламного агенства

Таблиця 5.11 – Формулювання управлінської проблеми

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Легко залучити ЗМІ, оскільки кінцевий продукт є унікальним з точки зору матеріалу.</li> <li>- Є декілька постачальників сировини, які співпрацюють з нашою компанією.</li> <li>- Конкурентна перевага у технології виробництва продукту.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Потрібне залучення інвестицій.</li> <li>- У компанії немає авторитету на ринку, а тому і немає довіри.</li> <li>- Проведення науково-дослідницьких робіт не гарантує результату у вигляді нового продукту.</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Можливість залучати інвесторів, нарощувати фінансову вагу акцій компанії.</li> <li>- Можливість виконувати замовлення та позиціонувати компанію в якості дистриб'ютора.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Банкрутство підприємства, або заборгованість впродовж довгого часу.</li> <li>- Інвестори будуть диктувати не вигідні для компанії умови.</li> <li>- Будь-який інцидент у компанії, спричинений через недотримання технік безпеки, одразу відлякає потенційних інвесторів та клієнтів.</li> </ul>

Управлінська проблема: відсутність репутації компанії та унікальних товарів, яка б дала монополізацію ринку.

Альтернативні шляхи вирішення управлінської проблеми/реалізації управлінської можливості: об'єднання під одним брендом існуючих малих компаній, співпраця з відомим брендом для створення кредиту довіри, мінімізація витрат шляхом використання та розвитку інтернет-ресурсів, залучення для вирішення управлінської проблеми кризис-менеджера, спонсорство у заходах, що цікавлять потенційних клієнтів.

Таблиця 5.12 – Сильні та слабкі сторони альтернативних шляхів.

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
1. Об'єднання під одним брендом існуючих малих компаній.	Ризик відмови компаній до об'єднання. Складність даного розвитку подій	Створення впізнаваного бренду без додаткових затрат на рекламу. Потужний конкурент на ринку.
2. Співпраця з відомим брендом для створення кредиту довіри.	В рекламі зацікавлена тільки наша компанія. Швидше за все не вигідні умови співпраці для нас.	Якісно нові клієнти, збільшення доходу при сталому числі філіалів компанії.



3. Мінімізація витрат за рахунок розвитку та використання інтернет ресурсів.	Хороший інтернет сайт та його оптимізація в пошукових мережах коштує дорого. Підтримка коштуватиме набагато дешевше.	Створення клієнтської бази, можливість планувати свої витрати та закупки. Служба консультації в телефонному режимі, клієнтура в мережі інтернет,
4. Залучення до вирішення управлінської проблеми кризис-менеджера.	Є ризик, що проблема вирішена не буде, або після вирішення проблеми виявиться ще одне неявна проблема. Консультація кризис-менеджера фінансово може бути невиправданою, а також кризис-менеджера знайти непросто.	При грамотній співпраці з кризис-менеджером управлінська проблема має високі шанси на вирішення.

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми – інтенсивний розвиток інтернет-сайту та співпраця з уже відомим брендом. Що дасть змогу створити зручний онлайн-сервіс, якому можна довіряти. Результат не змусить довго чекати на себе. Масове надходження нових клієнтів буде вже у першому кварталі після запуску сайту або іншого рекламного ходу, де вказано відоме ім'я іншої компанії котра співпрацює з нами.

## 6. ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації на тему „Обертова піч 4,5х80м з модернізацією приводу” розроблені наступні частини: описана базова конструкція, зроблений літературний та патентний огляд стану питання, запропонована і обґрунтована модернізація базової установки., «Автоматична система управління», «Розробка стартап проекту» та «Охорона праці та навколишнього середовища». Крім того виконані розрахунки базового та модернізованої обертових печей, зроблені висновки відносно впровадження розробленої конструкції в промисловість.

В частині “Автоматична система управління” були автоматизовані процеси подачі та контролю за витратами матеріалів, які використовуються в процесі випалу клінкера; регулювання температур в зонах печі; вмикання пристроїв та регулювання їх характеристик; процеси регулювання вмісту вуглекислого газу в відходячих газах та контролю вологості шламу.

В частині «Розробка стартап проетку» запропонований варіант застосування модернізації в сучасних економічних реаліях з врахуванням соціально-економічних факторів.

В пояснювальній записці розглянуто декілька варіантів вирішення задачі з використанням новітньої патентної літератури та мережі INTERNET. В результаті проведеної роботи були розглянуті варіанти технічних рішень усунення основних недоліків обертової печі. Для виконання розрахунків використовувалася програма ANSYS. Також для автоматизованого виконання креслення на функціональній мові програмування AUTOLISP було розроблено програми для виконання креслень і 3D моделей розвантажувальної частини і корпусу трубного млина. Виконані розрахунки підтверджують працездатність модернізованої конструкції.

Внаслідок модернізації приводу шляхом заміни приводної системи на двигун, в якому піч є ротором, а корпус двигуна – статором досягається покращення якості готового матеріалу, підвищення продуктивності та надійності.

За умови неможливості виконання першої модернізації була розроблена інша, в результаті якої вінцева шестерня кріпиться до корпусу пружинами з прогнатованою зоною пружної деформації що зменшує навантаження на корпус печі під час її запуску та роботи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ходоров Е. И. Печи цементной промышленности.  
Л.: Промстройиздат, 1968, 455с.
2. Силенок С. Г., Гризак Ю. Ф., Лямин В. Н. и др. Печные агрегаты цементной промышленности. М.: Машиностроение, 1984. 166с.
3. Банит Ф. Г., Несвижский О. А. Механическое оборудование цементных заводов. М.: Машиностроение, 1975. 308 с.
4. Бауман В. А., Клушанцев Б. В., Мартынов В. Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1981. 324 с.
5. Сапожников М. Я. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. М.: Машгиз, 1962. 520 с.
6. Журавлев М. И., Фоломеев А. А, Механическое оборудование предприятий вяжущих материалов и изделий на базе их.  
М.: Высш. шк., 1983. 309 с.
7. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя:  
В 3 т. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1979. Т. 1. 728 с.
8. Золотницкий М.Д., Пчелинцев В.А. Охрана труда в строительстве. М.: Высш. шк., 1978. 408 с.
9. В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев Вращающиеся печи.  
Теплотехника, управление и экология. Книга 1

## ЗМІСТ

1. ПАРАМЕТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ 4,5×80м .....	2
2. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ 4,5×80 м.....	12
3. РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ .....	23
4. РОЗРОБКА ВУЗЛА КОНСТРУКЦІЇ В СИСТЕМІ AUTOCAD.....	39
5. РОЗРАХУНОК ВУЗЛА КОНСТРУКЦІЇ В СИСТЕМІ ANSYS .....	45
АНАЛІЗ РОЗРАХУНКІВ.....	51

	т	№ докум.	Підпис	та			
Розроб.	Мащенко Б.Т.				КПІ ім. Ізгоря Сікорського ІХФ, ХПСМ		
Перевір.	Щердина В.Ю.						
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Аркуші
						2	

## 1. ПАРАМЕТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ 4,5×80м

Вихідні дані: обертова піч сухого способу виробництва, діаметр  $D=4,5$  м, довжина  $L=80$  м, частота обертання  $n=1,3$  об/хв., ухил печі  $i=4\%=0,04$ , кількість опор -4.

### 1.1 Продуктивність печі

Виходячи з теплової потужності по формулі

$$\Pi = \frac{3,6 \cdot N_t}{q_{\Pi}} = \frac{0,5 \cdot 10^5 \cdot 3,6}{1440} = 125 \text{ т/год.}; \quad (1.1)$$

де  $N_T$  – теплова потужність печі, по формулі

$q_{\Pi}$  – питома витрата тепла на випал клінкера,  $q_{\Pi}=3400$  кдж/кг клінкера.

$$N_T = k_N \cdot D_{CB}^2 \cdot L \cdot k_{\Pi} = 38 \cdot 4^2 \cdot 80 \cdot 1 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ кВт} \quad (1.2)$$

де  $k_N=38$  – для печей сухого способу виробництва з реакторами декарбонизаторами;

$D_{CB}$  – діаметр печі,

$k_{\Pi}$  – поправочний коефіцієнт,  $k_{\Pi}=0,97$ ;

$$D_{CB} = D - 2 \times \delta = 4,5 - 2 \times 0,23 = 4,04 \text{ м};$$

де  $\delta$  – товщина футеровки в зоні спікання,  $\delta=230$  мм;

Теплову напругу в зоні спікання перевіряємо, використовуючи вираз.

$$\sigma_T = \frac{4 \cdot N_T}{\pi \cdot D_{CB}^2} = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 10^5}{3,14 \cdot 4^2} = 4177 \text{ кВт/м}^2 \quad (1.3)$$

Отриманий результат не перевищує припустимих значень (до 6000 кВт/м<sup>2</sup> для сухого способу виробництва).

Продуктивність печі як транспортуючого агрегату розраховуємо по формулі:

$$\Pi = \frac{\pi \times D_{CB}^2}{4} \times \varphi \times \rho_{cp} \times \vartheta_{cp} = \quad (1.4)$$

$$\frac{3,14 \cdot 4^2}{4} 0,08 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot 58 = 70 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{год} = 70 \text{ т/год.};$$

Де  $\vartheta_{\text{cp}}$  - середня швидкість руху матеріалу в печі,

$$\vartheta_{\text{cp}} = \pi \times D_{\text{св}} \times i \times n \times 60 = 3,1415 \times 4,04 \times 0,04 \times 1,3 \times 60 = 39,5 \text{ м/год};$$

$$\rho_{\text{cp}} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 - \text{середня щільність матеріалу};$$

$$\varphi = 0,08 - \text{середній коефіцієнт заповнення переріза печі}.$$

Лістинг програми розрахунку продуктивності обертової печі приведений в додатку.

## 1.2 Потужність привода обертання печі.

Для визначення потужності розраховуємо моменти сил опору обертанню печі. Момент, викликаний нецентрово розташованим у печі матеріалом

$$M_1 = G_m \times a = 0,99 \times 10^6 \times 0,78 = 0,77 \times 10^6 \text{ Н} \times \text{м};$$

де  $G_m$  — вага матеріалу в печі,

$$G_m = F_m \times \rho_{\text{cp}} \times g \times L = 1,06 \times 1,2 \times 10^3 \times 9,81 \times 80 = 0,99 \times 10^6 \text{ Н};$$

Площа матеріалу в печі

$$F_m = \frac{\pi \times D_{\text{cp}}^2}{4} \times \varphi = \frac{3,14 \times 4,1^2}{4} \times 0,08 = 1,06 \text{ м}^2;$$

де  $a$  - відстань від вертикальної осі перетину печі до центра ваги перетину матеріалу, по формулі

$$a = R_0 \times \sin(\psi) = 1,72 \times \sin(27^\circ) = 0,78 \text{ м};$$

$\psi$ -кут укосу матеріалу в печі,  $\psi = 27^\circ$ .

Відстань від центра ваги перетину матеріалу до осі обертання  $R_0$  можна знайти за допомогою рис.1.1.





$$M_2 = \frac{G_{об} \times \mu}{\cos(\beta) \times R_p} \times (R_p + R_{\sigma}) = \frac{16.68 \times 10^6 \times 0,0005}{\cos(32,5^\circ) \times 0,85} \times (0,85 + 2,74) = 4,18 \times 10^4 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

де  $G_{об}$  — загальна вага печі,

$\beta$  — кут установки роликів щодо вертикальної осі  $\beta=32,5^\circ$ ;

$\mu$  - коефіцієнт тертя катання бандажів по роликах,  $\mu=0,0005$  м;

Момент сил тертя в підшипниках роликоопор, наведений до осі обертання печі, визначаємо по формулі:

$$M_3 = \frac{G_{об} + z \times G}{\cos(\beta)} \times f \times \frac{R_{\psi}}{R_p} \times R_{\sigma} = \frac{16.68 \times 10^6 + 8 \times 1,76 \times 10^5}{\cos(32,5^\circ)} \times 0,008 \times \frac{0,28}{0,85} \times 2,74 = 1,54 \times 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Тут  $z_p$ —число опорних роликів,  $z_p=8$  ;  $G_p$ -вага одного ролика разом з віссю,  $G_p=1,76 \times 10^5$  Н;  $f$ -коефіцієнт тертя в конічних роликопідшипниках опор,  $f=0,008$ .

Необхідну потужність електродвигуна знаходимо по формулі:

$$N = \frac{(M_1 + M_2 + M_3) \times \omega}{1000 \times \eta_{\Sigma}} = \frac{(0,77 \times 10^6 + 4,18 \times 10^4 + 1,54 \times 10^5) \times 0,165}{1000 \times 0,95} = 367 \text{ кВт};$$

де  $\eta_{\Sigma}$  — к. п. буд. привода,  $\eta_{\Sigma}=0,95$ ;  $\omega$  - кутова швидкість печі, при максимальній частоті обертання  $n=1,58$  об/хв,

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30} = \frac{3,1415 \times 1,58}{30} = 0,165 \text{ рад};$$

### 1.3 Розрахунок підшипників кочення на довговічність.

Осі опорних роликів установлені на чотирирядні конічні роликопідшипники № 10777/750, нестандартні, сприймаючі радіальне навантаження. Осьове навантаження сприймають опорні роликопідшипники трирядні № 9889468. Максимальне значення опорної реакції знайдено раніше:  $R_A=138 \cdot 10^3$  Н.

Приведене навантаження на радіальний підшипник відповідно до формули при  $Y=0$ ,  $X=1$  складе

$$P_{пр}=R_A \times k_R \times k_6 \times k_T = 1,38 \times 10^6 \times 1 \times 1,3 \times 1 = 1,79 \times 10^6 \text{ Н};$$

де  $k_k=1$ ,  $k_6=1,3$ ,  $k_T=1$  - коефіцієнти обертання, безпеки і температурний. Температура при нормальній роботі системи охолодження не перевищує 125 °С.

Приведене навантаження на упорний підшипник визначимо по рівнянню:

$$P_{np}^0 = A \times k_6 \times k_T = 484,8 \times 10^3 \times 1,3 \times 1 = 0,6 \times 10^6 \text{ Н}; \quad (1.11)$$

Довговічність підшипників знаходимо по формулі:

для радіального

$$(nh)^{0,3} = \frac{C_p \times P}{P_{np}^0} = \frac{30 \times 10^6 \times 9,81}{1,79 \times 10^6} = 176,4 \quad (1.12)$$

для упорного

$$(nh)^{0,3} = \frac{6 \times 10^6 \times 9,81}{0,63 \times 10^6} = 93,4 \quad (1.13)$$

Де  $C_p$  - коефіцієнти працездатності, узяті для використовуваних підшипників.

Частота обертання підшипника

$$n_{II} = n \times \frac{R_6}{R_p} = 1,3 \times \frac{2,735}{0,85} = 4,18 \text{ об/хв.};$$

Довговічність радіального підшипника  $h_{рад} = 1,79 \cdot 10^5 \text{ год.} = 20 \text{ років.}$

Довговічність упорного підшипника  $h_{yn} = 93000 \text{ год.} = 10 \text{ років.}$  Треба врахувати, що піч має постійне осьове переміщення, причому 25 % робочого часу піч переміщається нагору, а 75 % - униз. Найбільш навантажений «нижній» упорний підшипник завантажений тільки 75 % часу, тому фактична довговічність упорного підшипника

$$h_{yn}^{\phi} = \frac{h_{yn}}{0,75} = \frac{10}{0,75} = 14 \text{ років.}$$

#### 1.4 Розрахунок додаткового привода

Загальне передаточне число головного привода,

$$i_{\text{гл.пр}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n} = \frac{720}{1,3} = 576,92 ; \quad (1.14)$$

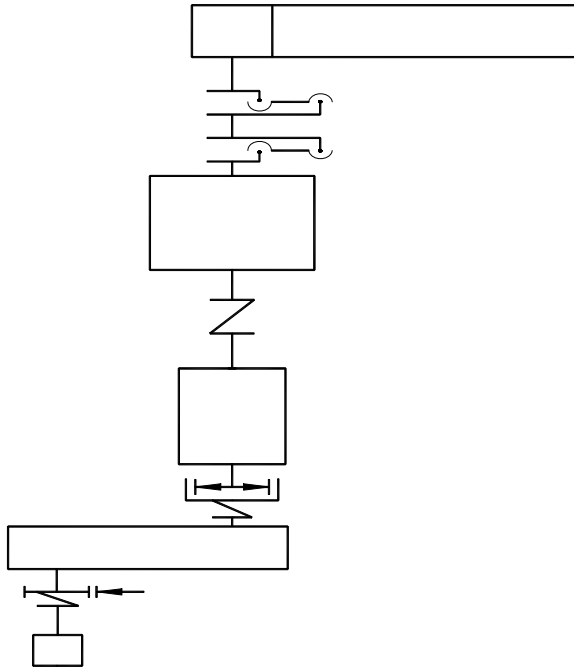


Рис. 1.2 Кінематична схема привода печі.

Для печі 4,5×80 м приймаємо однобічний привод. Головний редуктор печі має передаточне число  $i_p=75,82$ , тоді передаточне число відкритої зубчастої передачі

$$i_{\text{з.п}} = \frac{i_{\text{гл.пр}}}{i_p} = \frac{576,92}{75,82} = 7,6 ; \quad (1.15)$$

Потужність допоміжного привода, що забезпечує частоту обертання печі  $n_{\text{всп}}=4$  об/год., чи  $n_{\text{всп}}=0,066$  об/хв., визначимо, припустивши, що крутний момент на осі печі однаковий при обертанні її від головного і від допоміжного приводів:

$$N_{\text{всп}} = \frac{N_{\text{гл}} \times n_{\text{всп}}}{n \times \eta_{\text{всп}}} = \frac{150 \times 0,066}{1,3 \times 0,96} = 7,93 \text{ КВт};$$

де  $\eta_{\text{всп}} = \eta_{3, \text{п}} = 0,98^2 = 0,96$  -к.п.д. допоміжного привода.

Приймаємо асинхронний закритий обдуваємий двигун 4А12ОМ43, для якого  $N_{\text{дв.всп}} = 10 \text{ КВт}$ ,  $n_{\text{дв.всп}} = 1500 \text{ об/хв.}$ ,  $k_{\text{max}} = 2,2$ .

Необхідне передаточне число редуктора допоміжного привода

$$i_{\text{всп}} = \frac{n_{\text{дв.всп}}}{n_{\text{всп}} \times i_{\text{гл.пр}}} = \frac{1500}{0,066 \times 576,92} = 39,39; \quad (1.16)$$

Момент, що крутить, на тихохідному валу цього редуктора

$$\begin{aligned} M_{\text{вых.всп}} = M_{\text{кр.гл}} &= 9600 \times \frac{N_{\text{дв.всп}} \times \eta_{\text{всп}} \times i_{\text{всп}}}{n_{\text{дв.всп}}} = \\ &= 9600 \times \frac{10 \times 0,96 \times 39,39}{1500} = 2433 \text{ Н}\times\text{м}; \end{aligned} \quad (1.17)$$

Приймаємо редуктор Ц2У-310Н циліндричний двоступінчастий із зачепленням Новикова і передаточним числом  $i_p = 40$ , що допускає момент на тихохідному валу  $M_T = 2800 \text{ Н}\times\text{м}$ .

### 1.5 Розрахунок відкритої зубчастої передачі

Перевірку міцності робимо по напруженнях згину. При цьому вихідними даними для розрахунку вважаємо наступні: модуль передачі  $m = 50 \text{ мм}$ ; кількість зубів шестірні  $z_1 = 25$ ; кількість зубів колеса  $z_2 = 184$ ; передатне відношення  $i_{3, \text{п}}^{\Phi} = 7,36$ ; робоча ширина вінця  $b = 800 \text{ мм}$ . Ступінь точності -9, матеріал шестірні - сталь 50, колеса - сталь 50Л. Твердість шестірні HB 370, колеса HB 170.

Крутний момент на шестірні визначаємо по формулі;

$$M_1 = 9600 \times \frac{N_{\text{гл}} \times \eta_{\text{гл}} \times i_{\text{гл}}}{n_{\text{дв.гл}}} = 9600 \times \frac{150 \times 75,82 \times 0,95}{750} = 1,38 \times 10^5 \text{ Н}\times\text{м}; \quad (1.18)$$

Крутний момент на колесі

$$M_2 = M_1 \cdot i_{3, \text{п}}^{\Phi} = 1,38 \times 10^5 \times 7,36 = 10,018 \times 10^5 \text{ Н}\times\text{м};$$

Частота обертання шестірні

$$n_{ш} = \frac{n_{г\text{л.дв}}}{i_p} = \frac{750}{75,82} = 9,9 \text{ об/хв.};$$

швидкість зачеплення,

$$v_{ш} = \frac{\pi \times d_{ш} \times n_{ш}}{60} = \frac{3,1415 \times 0,05 \times 25 \times 9,9}{60} = 0,65 \text{ м/с}; \quad (1.19)$$

де  $d_{ш}$  - початковий діаметр шестірні,  $d_{ш}=m \times z_1=50 \times 25=1250$  мм;

Формула перевірного розрахунку для прямозубої циліндричної передачі має вид:

$$\sigma_F = Y_F \times k_\beta \times k_v \times \frac{2 \times 10^3 \times M_1}{m^2 \times z_1 \times b} < [\sigma_F]. \quad (1.20)$$

Де  $Y_F$  - коефіцієнт форми зуба;  $Y_F=3.88$  при  $z_1=25$  і нульовому коефіцієнті зсуву;

$k_\beta$  - коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження по ширині вінця зубчастого колеса,  $k_\beta=1.04$  при  $\psi_d = \frac{b}{d_{ш}} = \frac{800}{1250} = 0,64$  і  $HV < 350$ ;

$k_v$  - коефіцієнт динамічного навантаження; при  $v < 1$  м/с, дев'ятого ступеня точності передачі, твердості поверхонь колеса  $HV < 350$  і шестірні  $HV > 350$ ,  $k_v=1.13$ ;

$[\sigma_F]_{ш}$  – допустимі напруження на згин для зубів,

$$[\sigma_F]_{ш} = \frac{\sigma_{lim} \times k_L \times k_c}{s} = \frac{600 \times 1,1 \times 1}{3} = 220 \text{ МПа}; \quad (1.21)$$

де  $\sigma_{lim}$  – границя витривалості зубів при згині, що відповідає базовому числу циклів нагружень, при твердості серцевини  $HV_{ш} > 370$ ,  $\sigma_{lim}=1,35 \times HV+100=1.35 \times 370+100=600$  Мпа;

$k_c$  – коефіцієнт, що враховує вплив двостороннього додатка навантаження на зуби, при однобічній дії  $k_c=1$ ;

$k_L$  - коефіцієнт довговічності, при тривалості роботи передачі понад 5 років безупинної роботи можна приймати  $k_L=1$ ;

$s$  – коефіцієнт безпеки,  $s=1,7...2,2$ ; для відкритої зубчастій передачі, підданої абразивного зносу, збільшуємо коефіцієнт безпеки приблизно на 50 % і приймаємо  $s_{ш}=3$ .

Після підстановки у формулу перевірного розрахунку одержимо,

$$\sigma_{F_{ш}} = 3,88 \times 1,04 \times 1,13 \times \frac{2 \times 10^3 \times 1,38 \times 10^5}{50^2 \times 184 \times 800} = 3,42 \text{ МПа} ;$$

Для колеса,

$$\sigma_{F_k} = 3,6 \times 1,04 \times 1,13 \times \frac{2 \times 10^3 \times 10 \times 10^5}{50^2 \times 184 \times 800} = 22,99 \text{ МПа} ;$$

Де  $Y_{Fk}=3.6$ ;  $k_{\beta}=1.04$ ;  $k_v=1.13$ ;

$$M_k = M_1 \times i = 1,38 \times 10^5 \times 184 / 25 = 10,16 \times 10^5 \text{ Н} \times \text{м} ;$$

$$[\sigma_F]_k = \frac{330 \times 1 \times 1}{3} = 110 \text{ МПа} ;$$

$z_2=184$ ;  $k=1$ ;  $k_c=1$ ;  $S=3$ ;

$$\sigma_{\text{lim.до}} = 1,35 \times 170 + 100 = 330 \text{ Мпа.}$$

Отже, міцність зубів на згин достатня.

#### 1.6 Розрахунок потужності модернізованого приводу

Беручи до уваги дослідження компанії «Siemens», розраховуємо потужність двигуна модернізованого приводу. Дані щодо ефективності типів приводів наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – ККД приводів

	GMD	LSS	HSS	HSS-FS
mechanical efficiency [%]	100.0	98.5	97.0	97.0

Де GMD – безшестерневий привід;

LSS – привід з тихохідним редуктором;

HSS – привід з швидкохідним редуктором;

HSS-FS – привід з швидкохідним редуктором з фіксованою швидкістю.

Необхідну потужність електродвигуна модернізованого приводу знаходимо по формулі:

Необхідну потужність електродвигуна знаходимо по формулі:

$$N = \frac{(M_1 + M_2 + M_3) \times \omega}{1000 \times \eta_{\text{гл}}} = \frac{(0,77 \times 10^6 + 4,18 \times 10^4 + 1,54 \times 10^5) \times 0,165}{1000 \times 1} = 349 \text{ кВт};$$

де  $\eta_{\text{гл}}$  — к. п. буд. приводу,  $\eta_{\text{гл}}=0,95$ ;  $\omega$  - кутова швидкість печі, при максимальній частоті обертання  $n=1,58$  об/хв,

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30} = \frac{3,1415 \times 1,58}{30} = 0,165 \text{ рад};$$

кВт.

де  $\eta_m$  - к. к. д. приводу,  $\eta_m=1$  ;

Приймаємо двигун типу GMD потужністю 470 кВт, фірми “Siemens”. Дані двигуни виготовляються на замовлення.

Звідси річна економічна вигода складає:

$$E = (N_b - N_m) 24 \cdot 365 \cdot Q = 555 \, 304 \text{ грн.}$$

Де  $Q$  – вартість кВт/Год. Для промислових підприємств на (на 4й квартал 2018 р.) становить 211,303 коп/кВт.

Враховуючи стан економічного розвитку суспільства та термін служби двигуна (20 років) маємо:

$$E_3 = E \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot 20 = 13 \, 716 \, 015 \text{ грн.}$$

Де  $k_1 \cdot k_2$  – коефіцієнти можливих перебоїв та здороощання електроносіїв відповідно.  $k_1 = 0,95$ .  $k_2 = 1,3$ .

## 2. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ 4,5×80 м

Звичайно задана продуктивність установки. У результаті розрахунку необхідно визначити: питому витрату тепла, розміри обертової печі. Метод теплового розрахунку, з якого визначають розміри, викладений далі.

Розрахунок робимо в наступній послідовності. Визначаємо витрату повітря і вихід продуктів згорання на 1  $\text{нм}^3/\text{кг}$  палива, вихід газоподібних продуктів випалу на 1 кг клінкера, через теплообмінник на 1 кг клінкера. Далі розраховуємо тепловий баланс установки, з якого знаходимо питому витрату тепла, і потім кількість газів, що проходять через елементи установки. Температури і тепломісткість газів на виході з теплообмінника й обертової печі визначаємо з рівнянь теплового балансу теплообмінника, а температуру вторинного повітря, що надходить у піч, — з теплового балансу холодильника. Після цього з рівняння теплообміну в обертовій печі знаходимо її розміри.

Вихідні дані:

- продуктивність печної установки  $B_{\text{кл}}$  — 60 т/ч,
- паливо — природний газ;
- склад газу:  
 $\text{CO}_2 = 0,12\%$ ;  $\text{CH}_4 = 91,5\%$ ;  $\text{CO}_2\text{H}_6 = 4,0\%$ ;  $\text{CO}_3\text{H}_8 = 1,6\%$ ;  $\text{CO}_4\text{H}_{10} = 0,28\%$ ;  
 $\text{CO}_6\text{H}_{12} = 0,13\%$ ;  $\text{N}_2 = 2,39\%$ ;
- теплота згорання газу  $Q_{\text{низ}}^{\text{P}}$  — 8929 ккал/ $\text{нм}^3 = 37384$  кДж/ $\text{нм}^3$ ;
- витрата сухої сировини на 1 кг клінкера  $G_{\text{м}}^{\text{сух}}$  — 1,565 кг/кг кл;
- втрати при прожарюванні сухої сировини (умовно приймаємо, що в (п. п. п)<sub>м</sub> входить тільки  $\text{CO}_2^{\text{M}}$  із  $\text{CaCO}_3^{\text{M}}$ ) (п. п. п)<sub>м</sub> — 35,5%;
- вологість сировинної шихти  $W_{\text{м}}$  — 1,0%;
- ступінь дисоціації  $\text{CaCO}_3$  у теплообміннику  $y$  — 15%;
- температура горючого газу, що надходить у печну установку,  $t_{\text{г}}$  — 10°C;
- кількість повітря, що надходить під решітку холодильника,  $V_{\text{вх}}$  — 2,8  $\text{нм}^3/\text{кг}$  кл;



- температура пилу, що повертається в процес тпл — 40°C;
- присос повітря через не щільності в голівці печі - 5% від загальної кількості повітря, потрібного для горіння палива;
- температура навколишнього повітря  $t_v$  — 15°C;
- середня температура сировинної шихти, що надходить у теплообмінник,  $t_m$  — 40°C;
- температура газів на виході з теплообмінника  $t_{отх}$  — 330°C;
- температура клінкера на виході з холодильника  $t_{кл}$  — 100°C;
- температура надлишкового повітря, що викидається з холодильника в атмосферу,  $t_{визб}$  -1700°C;
- тепловий ефект клінкероутворення  $qr$ -439,3 ккал/кг кл=1839,26 кДж/кг кл;
- кількість первинного повітря — 25% від загальної витрати повітря на горіння;
- температура клінкера на виході з печі  $t_{пкл}$  — 1200°C;
- коефіцієнт надлишку повітря: за піччю — 1,1, за теплообмінником — 1,6;
- коефіцієнт корисної дії електрофільтру  $\eta_{элф}$  = 0,95, теплообмінника — 0,7;
- утрати тепла в навколишнє середовище, ккал/кг кл: піччю — 120; пильній камерою — 5; теплообмінником — 15; холодильником — 10;
- віднесення пилу з печі в % від сухого матеріалу  $z$  — 15.

## 2.1 Витрата повітря на горіння і вихід продуктів горіння

Теоретична витрата повітря

$$[V_B^*] = 0,0238(4CH_4 + 7C_2H_6^p + 10C_3H_8^p + 13C_4H_{10}^p + 16C_5H_{12}^p) =$$

$$= 0,0238(4 \cdot 91,5 + 7 \cdot 4,0 + 10 \cdot 1,6 + 13 \cdot 0,28 + 16 \cdot 0,13) = 9,92 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа.}$$

Практична витрата повітря

$$V_B^* = \alpha[V_B^*] = 9,92 \cdot 1,1 = 10,91 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа.}$$

Вихід продуктів горіння

$$V_{CO_2}^{T^*} = 0,01(CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10} + 5C_5H_{12} + CO_2) =$$

$$= 0,01(91,5 + 2 \cdot 4,0 + 3 \cdot 1,6 + 4 \cdot 0,28 + 5 \cdot 0,13 + 0,12) = 1,06 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа;}$$

$$V_{N_2}^{T*} = 0,79V_B^* + 0,01N_2 = 0,79 \cdot 10,91 + 0,01 \cdot 2,39 = 8,64 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа};$$

$$V_{O_2}^{T*} = 0,21(\alpha - 1)[V_B^*] = 0,21(1,1 - 1)9,92 = 0,208 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа};$$

$$V_{H_2O}^{T*} = 0,01(2CH_4 + 3C_2H_4 + 4C_3H_8 + 5C_4H_{10} + 6C_5H_{12}) = \\ = 0,01(2 \cdot 91,5 + 3 \cdot 4,0 + 4 \cdot 1,6 + 5 \cdot 0,28 + 6 \cdot 0,13) = 2,04 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3 \text{ газа}.$$

## 2.2 Вихід газоподібних продуктів із сировини

Загальна кількість CO<sub>2</sub> , що виділилася із сировинної шихти,

$$G_{CO_2}^M = \frac{G_M^{cyx}(\text{п.п.п.})_M}{100} = \frac{1,565 \cdot 35,5}{100} = 0,556 \text{ кг} / \text{кг кл},$$

чи

$$V_{CO_2}^M = \frac{G_{CO_2}^M}{\gamma_{CO_2}} = \frac{0,556}{1,977} = 0,281 \text{ нм}^3 / \text{кг кл}.$$

Кількість CO<sub>2</sub> , що виділилася в теплообміннику,

$$G_{CO_2}^T = \frac{G_{CO_2}^M y}{100} = \frac{0,556 \cdot 15}{100} = 0,083 \text{ кг} / \text{кг кл},$$

чи

$$V_{CO_2}^{TO} = \frac{G_{CO_2}^{TO}}{\gamma_{CO_2}} = \frac{0,083}{1,977} = 0,042 \text{ нм}^3 / \text{кг кл}.$$

Кількість CO<sub>2</sub> , що виділилася в обертовій печі,

$$G_{CO_2}^P = G_{CO_2}^M - G_{CO_2}^{TO} = 0,556 - 0,083 = 0,473 \text{ кг} / \text{кг кл},$$

чи

$$V_{CO_2}^P = V_{CO_2}^M - V_{CO_2}^{TO} = 0,281 - 0,042 = 0,239 \text{ нм}^3 / \text{кг кл}.$$

Кількість водяних парів

$$G_{H_2O}^M = \frac{G_M^{cyx} W_M}{100 - W_M} = \frac{1,565 \cdot 1,0}{100 - 1,0} = 0,0158 \text{ кг} / \text{кг кл},$$

чи

$$V_{H_2O}^M = \frac{G_{H_2O}^M}{\gamma_{H_2O}} = \frac{0,0158}{0,805} = 0,019 \text{ нм}^3 / \text{кг кл}.$$

### 2.3 Кількість пилу, що проходить через теплообмінник

Кількість пилу, уносимой газами з обертової печі,

$$G_{\text{пл}}^{\text{П}} = \frac{(1 + G_{\text{CO}_2}^{\text{П}})z}{1 - z} = \frac{(1,0 + 0,473)15}{100 - 15} = 0,26 \text{ кг / кгкл.}$$

Кількість пилу, що осіла в теплообміннику,

$$G_{\text{ос}}^{\text{ТО}} = 1,0 + G_{\text{CO}_2}^{\text{П}} + G_{\text{пл}}^{\text{П}} = 1,0 + 0,473 + 0,26 = 1,733 \text{ кг / кгкл.}$$

Загальна кількість пилу, що надходить у теплообмінник,

$$G_{\text{об}}^{\text{ТО}} = \frac{G_{\text{ос}}^{\text{ТО}} + G_{\text{CO}_2}^{\text{ТО}}}{\eta_{\text{цик}}} = \frac{1,733 + 0,083}{0,7} = 2,594 \text{ кг / кгкл.}$$

Кількість пилу, що виходить з теплообміннику з газами,

$$G_{\text{вых}}^{\text{ТО}} = G_{\text{об}}^{\text{ТО}} - G_{\text{ос}}^{\text{ТО}} - G_{\text{CO}_2}^{\text{ТО}} = 2,594 - 1,733 - 0,083 = 0,778 \text{ кг / кгкл.}$$

### 2.4 Витрата повітря, що надходить у печну установку, на 1 кг клінкера

Практична витрата повітря на горіння

$$V_{\text{В}} = V_{\text{В}}^* V_{\text{Т}} \approx 10,91 V_{\text{ТНМ}}^3 / \text{кгкл.}$$

Кількість повітря, що присмоктується через голівку печі,

$$V_{\text{В}}^{\text{Г.Л}} = 0,05 V_{\text{В}} = 0,05 \cdot 10,91 V_{\text{Т}} = 0,545 V_{\text{ТНМ}}^3 / \text{кгкл.}$$

Кількість повітря, що присмоктується за піччю,

$$V_{\text{В}}^{\text{ХК}} = [V_{\text{В}}^* (\alpha_{\text{ТО}} - \alpha_{\text{п}})] V_{\text{Т}} = 9,92(1,6 - 1,1) V_{\text{Т}} = 4,96 V_{\text{ТНМ}}^3 / \text{кгкл.}$$

Загальна кількість повітря, що надходить у печну установку,

$$V_{\text{В}}^{\text{об}} = V_{\text{В.Х}} + V_{\text{В}}^{\text{Г.К}} + V_{\text{В}}^{\text{Х.К}} = 2,8 + 0,545 V_{\text{Т}} + 4,96 V_{\text{Т}} = 2,8 + 5,5 V_{\text{ТНМ}}^3 / \text{кгкл.}$$

Кількість надлишкового повітря, що викидається в атмосферу,

$$V_{\text{В}}^{\text{изб}} = V_{\text{В.Х}} + V_{\text{В}}^{\text{Г.К}} - V_{\text{В}} = 2,8 + 0,545 V_{\text{Т}} - 10,91 V_{\text{Т}} = 2,8 - 10,365 V_{\text{ТНМ}}^3 / \text{кгкл.}$$

### 2.5 Тепловий баланс печної установки

Тепло згорання палива

$$q_{\text{П}} = V_{\text{Т}} Q_{\text{низ}}^{\text{Р}} = V_{\text{Т}} \cdot 8929 \text{ ккал / кгкл} = 37384 \text{ кДж / кгкл.}$$

Фізична тепломісткість палива

$$q^{\Phi} = V_T c_T t_T = V_T \cdot 0,385 \cdot 10 = 3,85 V_T.$$

Тепломісткість сировини

$$q_M = (G_M^{cyx} c_M + G_w^M) t_M = (1,565 \cdot 0,22 + 0,0158) \cdot 40 = 14,5 \text{ ккал / кгкл} = 60,7 \text{ кДж / кгкл}.$$

Тепломісткість повітря

$$q_B = V_a^{об} c_B t_B = (2,8 + 5,5 V_T) \cdot 0,31 \cdot 15 = 13,0 + 25,6 V_T \text{ ккал / кгкл} = 54,4 + 107,1 V_T \text{ кДж / кгкл}.$$

Тепловий ефект клінкероутворення

$$q_P = 439,3 \text{ ккал / кгкл} = 1839,2 \text{ кДж / кгкл}.$$

Утрата тепла на випар води із сировини

$$q_w^M = G_w^M \cdot 595 = 0,0158 \cdot 595 = 9,4 \text{ ккал / кгкл} = 39,3 \text{ кДж / кгкл}.$$

Утрата тепла з газами, що відходять

$$q_{\Gamma}^{OTX} = [(V_{CO_2}^T + V_{CO_2}^M) c_{CO_2} + V_{N_2}^T c_{N_2} + V_{O_2}^T c_{O_2} + (V_{H_2O}^T + V_{H_2O}^M) c_{H_2O} + V_B^{X.K} c_B] t_{\Gamma}^{OTX} =$$

$$= \left[ (1,06 V_T + 0,281) 0,4535 + 8,68 V_T \cdot 0,3136 + 0,208 V_T \times \right. \\ \left. \times 0,3255 + (2,04 V_T + 0,019) 0,3685 + 4,96 V_T \cdot 0,316 \right] 330 =$$

$$= 1843 V_T + 44,3 \text{ ккал / кгкл} = 7716,2 V_T + 185,4 \text{ кДж / кгкл}.$$

Утрата тепла з віднесенням

$$q_{\Pi\Gamma} = \eta_{\text{эф}} 0,29 c_{\Pi\Gamma} (t_{\Gamma}^{OTX} - t_{\Pi\Gamma}) + (1 - \eta_{\text{эф}}) 0,29 c_{\Pi\Gamma} t_{\Gamma}^{OTX} =$$

$$= 0,95 \cdot 0,29 \cdot 0,25 (330 - 40) + (1 - 0,95) \cdot 0,29 \cdot 0,25 \cdot 330 = 21,1 \text{ ккал / кгкл} =$$

$$= 88,3 \text{ кДж / кгкл}.$$

0,29 кг/кгкл — кількість пилу, віднесений газами.

Утрата тепла з клінкером

$$q_{\text{кл}} = c_{\text{кл}} t_{\text{кл}} = 0,188 \cdot 100 = 18,8 \text{ ккал / кгкл} = 78,7 \text{ кДж / кгкл}.$$

Утрата тепла з повітрям, що викидається з холодильника,

$$q_B^{\text{изб}} = V_B^{\text{изб}} c_B t_B^{\text{изб}} = (2,8 - 10,365 V_T) \cdot 0,31 \cdot 170 = 147 - 546 V_T \text{ ккал / кгкл} =$$

$$= 615,4 - 2285,9 V_T \text{ кДж / кгкл}.$$

Утрата тепла в навколишнє середовище  $q_{\text{пот}} = 163 \text{ ккал / кг кл} = 682,4 \text{ кДж / кгкл}$ . З

рівняння теплового балансу визначаємо значення  $V_T$ :

$$8929 V_T + 3,85 V_T + 14,5 + 13,0 + 25,6 V_T =$$

$$= 439,3 + 9,4 + 1843 V_T + 44,3 + 21,1 + 18,8 + 147 - 546 V_T + 163;$$

$$V_T = 0,1064 \text{ нм}^3/\text{кг кл}$$

Питома витрата тепла на випал

$$q_{\Pi} = Q_{\text{низ}}^p V_T = 8929 \cdot 0,1064 = 950 \text{ ккал} / \text{кг кл} = 3977,4 \text{ кДж} / \text{кг кл}.$$

Статті теплового балансу зведені в таблиці 2.1

## Тепловий баланс

Таблиця 2.1

Прихід тепла			Витрата тепла		
Найменування	кДж/кг кл	%	Найменування	кДж/кг кл	%
Тепло від згоряння палива	3977,4	96,9	Теоретичне тепло клінкероутворення	1839,26	44,8
			Утрата тепла на випар води	39,35	0,96
Фізична тепломісткість палива	1,67	0,04	Утрата тепла з газами, що відходять	1006,08	24,55
Тепломісткість сировини	60,7	1,46	Утрата тепла з віднесенням	88,34	2,15
Тепломісткість повітря	66,1	1,6	Утрата тепла з клінкером	78,71	1,9
			Утрата тепла з повітрям, що викидається з холодильника	371,78	9,04
			Утрата тепла в навколишнє середовище	682,4	16,6
	4105,9	100		4105,9	100

## 2.6 Витрата повітря на горіння і кількість газів, що відходять

Кількість повітря:

на горіння

$$V_B = V_B^* V_T = 10,91 \cdot 0,1064 = 1,16 \text{ нм}^3 / \text{кгкл};$$

первинного (у розмірі 25%)

$$V_{B_1} = V_B \cdot 0,25 = 1,16 \cdot 0,25 = 0,29 \text{ нм}^3 / \text{кгкл};$$

що присмоктується через головку печі (5%)

$$V_B^{\Gamma.K} = 0,545 V_T = 0,545 \cdot 0,1064 = 0,058 \text{ нм}^3 / \text{кгкл};$$

вторинного

$$V_{B_2} = V_B - V_{B_1} - V_B^{\Gamma.K} = 1,16 - 0,29 - 0,058 = 0,852 \text{ нм}^3 / \text{кгкл};$$

надлишкового, що викидається з холодильника,

$$V_B^{\text{изб}} = 2,8 - 10,365 V_T = 2,8 - 10,365 \cdot 0,1064 = 1,7 \text{ нм}^3 / \text{кгкл};$$

присмоктаного за піччю

$$V_B^{X.K} = 4,96 V_T = 4,96 \cdot 0,1064 = 0,527 \text{ нм}^3 / \text{кгкл}.$$

Кількість газів на виході з теплобмінника:

вуглекислоти

$$V_{\text{CO}_2}^{\text{TO}} = V_{\text{CO}_2}^T V_T + V_{\text{CO}_2}^M = 1,06 \cdot 0,1064 + 0,281 = 0,394 \text{ нм}^3 / \text{кгкл};$$

азоту

$$V_{\text{N}_2}^{\text{TO}} = V_{\text{N}_2}^T V_T = 7,85 \cdot 0,1064 = 0,835 \text{ нм}^3 / \text{кгкл};$$

надлишкового повітря

$$V_B^{\text{TO}} = [V_B^*] V_T (\alpha_{\text{цик}}^{\text{TO}} - 1,0) = 9,92 \cdot 0,1064 (1,6 - 1,0) = 0,635 \text{ нм}^3 / \text{кгкл};$$

водяних парів

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{TO}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^T V_T + V_{\text{H}_2\text{O}}^M = 2,04 \cdot 0,1064 + 0,019 = 0,235 \text{ нм}^3 / \text{кгкл}.$$

Результати розрахунку потоків газів зведені в табл 2.2.

Найменування	Одиниця виміру	теплообмінник	Курна камера	Обертова піч
Кількість газів на виході з циклонів і печі:				
вуглекислоти, CO <sub>2</sub>	нм3/кг кл	0,394	0,352	0,352
водяних парів, H <sub>2</sub> O	нм3/кг кл	0,235	0,216	0,216
азоту, N <sub>2</sub>	нм3/кг кл	0,835	0,835	0,835
надлишкового повітря	нм3/кг кл	0,635	0,210	0,104
Разом газів	нм3/кг кл	2,099	1,613	1,507

## 2.7 Температура газів на виході з обертової печі

Температуру вторинного повітря, що надходить у піч, визначаємо з теплового балансу холодильника.

Прихід тепла.

Тепломісткість клінкера, що надходить в холодильник,

$$q_{\text{кл}}^{\text{п}} = t_{\text{кл}}^{\text{п}} c_{\text{кл}} = 1200 \cdot 0,246 = 295,2 \text{ ккал / кгкл} = 1235,9 \text{ кДж / кгкл}.$$

Тепломісткість повітря, що надходить в холодильник,

$$q_{\text{в}} = V_{\text{в}}^{\text{х}} c_{\text{в}} t_{\text{в}} = 2,8 \cdot 0,31 \cdot 15 = 13,0 \text{ ккал / кгкл} = 54,4 \text{ кДж / кгкл}.$$

Витрата тепла

Утрата тепла з клінкером, що виходить з холодильника

$$q_{\text{кл}}^{\text{х}} = c_{\text{кл}} t_{\text{кл}}^{\text{х}} = 0,188 \cdot 100 = 18,8 \text{ ккал / кгкл} = 78,7 \text{ кДж / кгкл}.$$

Утрата тепла з повітрям, що викидається в атмосферу,

$$q_{\text{в}}^{\text{изб}} = 88,8 \text{ ккал / кгкл} = 371,78 \text{ кДж / кгкл}.$$

Утрата тепла в навколишнє середовище

$$q_{\text{пот}}^{\text{х}} = 10 \text{ ккал / кгкл} = 41,86 \text{ кДж / кгкл}.$$

Тепломісткість первинного повітря

$$q_{B_1} = V_{B_1} c_{t_B} = 0,29 \cdot 0,31 \cdot 170 = 15,3 \text{ ккал / кгкл} = 64,05 \text{ кДж / кгкл.}$$

Тепломісткість вторинного повітря  $q_{B_2}$

З рівняння теплового балансу

$$q_{B_2} = 295,2 + 13,0 - 18,8 - 88,8 - 10 - 15,8 = 175,3 \text{ ккал / кгкл} = 733,9 \text{ кДж / кгкл.}$$

Температура вторинного повітря

$$t_{B_2} = 741^\circ \text{C.}$$

## 2.8 Розміри обертової печі

Тепломісткість повітря і палива, що надходять у піч,

$$q'_\Gamma = q_{B_2} + V_B^{\Gamma.K} c_B t_B + q_{B_1} + q_\Gamma^\Phi = 175,3 + 0,058 \cdot 0,31 \cdot 15 + 15,3 + 0,4 = 191,3 \text{ ккал / кгкл} = 800,93 \text{ кДж / кгкл};$$

на 1 нм<sup>3</sup> газового палива

$$q_{\Gamma}^* = \frac{q'_\Gamma}{V_T} = \frac{191,3}{0,1064} = 1794 \text{ ккал / нм}^3 \text{ топл} = 7511,11 \text{ кДж / нм}^3 \text{ топл};$$

тепломісткість газів і пилу, що відходять з печі

$$q_\Gamma^\Pi = t_\Gamma^\Pi (V_{\text{CO}_2}^\Pi c_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}^\Pi c_{\text{N}_2} + V_B^\Pi c_B + V_{\text{H}_2\text{O}}^\Pi c_{\text{H}_2\text{O}} + G_{\text{пл}}^\Pi c_{\text{пл}}) = 1030(0,352 \cdot 0,5324 + 0,835 \cdot 0,334 + 0,104 \cdot 0,335 + 0,216 \cdot 0,412 + 0,26 \cdot 0,25) = 676 \text{ ккал / кгкл} = 2830,2 \text{ кДж / кгкл.}$$

Ступінь тепловикористання по формулі

$$\eta_{\text{ТЕП}} = \frac{q_\Pi + q'_\Gamma + q_\Gamma^\Pi}{q_\Pi + q'_\Gamma} = \frac{950 + 191,3 - 676}{950 + 191,3} = 0,407.$$

Теоретична температура горіння

Тепломісткість продуктів горіння

$$Q_{\text{НИЗ}}^P + q_{\Gamma}^* = 8929 + 1794 = 10723 \text{ ккал / нм}^3 \text{ топл} = 44895 \text{ кДж / нм}^3 \text{ топл.}$$

Теоретична температура визначається по методу підбора

Тепломісткість продуктів горіння при температурі 2300° С:



$$\begin{aligned}
 & V_{\text{CO}_2}^T J_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}^T J_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}^T J_{\text{O}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^T J_{\text{H}_2\text{O}} = \\
 & = 1,06 \cdot 1354,7 + 8,64 \cdot 825,7 + 0,208 \cdot 874 + 2,04 \cdot 1099,4 = \\
 & = 11002 \text{ ккал} / \text{нм}^3 \text{ топл} = 46063 \text{ кДж} / \text{нм}^3 \text{ топл}.
 \end{aligned}$$

Тепломісткість продуктів горіння при температурі 2200°C- 10463 ккал/нм<sup>3</sup>топл  
 = 43806 кДж/нм<sup>3</sup>топл.

Шукана теоретична температура горіння складає

$$t_{\text{ТЕОР}} = 2200 + \frac{10723 - 10463}{11002 - 10463} \cdot 100 = 2248^\circ \text{C};$$

$$T_{\text{ТЕОР}} \approx 2520^\circ \text{K}.$$

Теплова потужність печі

$$\theta_{\Pi} = q_{\Pi} B_{\text{КЛ}} \cdot 1000 = 950 \cdot 60 \cdot 10^3 = 57 \cdot 10^6 \text{ ккал} / \text{ч} = 238 \cdot 10^6 \text{ кДж} / \text{ч}.$$

Поверхня теплообміну визначаємо по формулі,

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{ТЕП}} &= 0,124 \left( \frac{\sigma T_{\text{ТЕОР}}^4 F_{\Pi}}{\theta_{\Pi}} \right)^{\frac{1}{3}}; \\
 0,41 &= 0,124 \left( \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 2520^4 F_{\Pi}}{57 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{3}},
 \end{aligned}$$

відкіля внутрішня поверхня печі  $F_{\Pi} = 1009 \text{ м}^2$ .

Питома продуктивність печі

$$\frac{1000 B_{\text{КЛ}}}{F_{\Pi}} = \frac{38 \cdot 10^3}{1009} = 59,4 \text{ кг} / \text{м}^2 \text{ч}.$$

Внутрішній діаметр печі по формулі

$$\begin{aligned}
 \theta_{\Pi} &= 1,5 D_{\Pi}^2 \sqrt{D_{\Pi}}, \\
 36,1 \cdot 10^6 &= 1,5 D_{\Pi}^2 \sqrt{D_{\Pi}},
 \end{aligned}$$

відкіля  $D_{\Pi} = 4,04 \text{ м}$ .

Зовнішній діаметр печі з урахуванням товщини футеровки складе  $d_{\Pi} = 4,5 \text{ м}$ .

Величина

$$1000 \frac{B_{\text{КЛ}}}{D_{\Pi}^3} = \frac{38 \cdot 10^3}{4,04^3} = 909 \text{ кг} / \text{м}^3 \text{ч},$$

що не перевищує значення, припустиме за умовами клінкeroутворення.

Довжина печі

$$L_{\Pi} = \frac{F_{\Pi}}{\pi D_{\Pi}} = \frac{1009}{3,14 \cdot 4,04} = 79,49 \text{ м.}$$

### 3. РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ

#### 3.1 Розрахунок опорно-ходової частини

Контактні напруження в парі бандаж -ролик визначаються залежністю:

$$\sigma_k = 0,418 \times \sqrt{\frac{P \times E}{b} \times \frac{(R_{\delta} + R_p)}{R_{\delta} \times R_p}} =$$
$$= 0,418 \times \sqrt{\frac{2424 \times 10^3 \times 2 \times 10^{11}}{0,8} \times \frac{(0,85 + 2,735)}{0,85 \times 2,735}} = 404 \text{ МПа};$$

де  $P$  – максимальне навантаження на опорний ролик при максимальному

навантаженні на опору,  $P = \frac{Q_{\max}}{2 \times \cos(\beta)} = \frac{4200 \times 10^3}{2 \times \cos(30)} = 2424 \text{ кН};$

$Q_{\max}$  – максимальне навантаження на опору,  $Q_{\max}=4200 \text{ кН};$

$E$  – модуль пружності матеріалу бандажа і ролика,  $E=2 \cdot 10^{11} \text{ Па};$

$b$  – ширина бандажа,  $b=0,8 \text{ м}.$

Контактні напруження, що допускаються

$$[\sigma_k]' = 4,9 \times \text{HB} \times (1 - 0,001 \times \text{HB}) = 4,9 \times 160 \times (1 - 0,001 \times 160) = 660 \text{ МПа} > \sigma_k = 464 \text{ МПа}.$$

Де  $\text{HB}$ -твердість робочих поверхонь бандажа і ролика по Бринелю,  $\text{HB}=160$ .

#### 3.2 Розрахунок вісі опорного ролика

Визначимо напруження в перерізах I, II по формулі і запаси міцності в цих перерізах (схему нагруження див. рис. 3.1). Осьова сила, що діє на ролик,

$$A = P \times f_s = 2424 \times 103 \times 0,2 = 484,4 \times 103 \text{ Н}; \quad (3.2)$$

де  $f_s$  – коефіцієнт тертя стали по сталі,  $f_s=0,2$ .

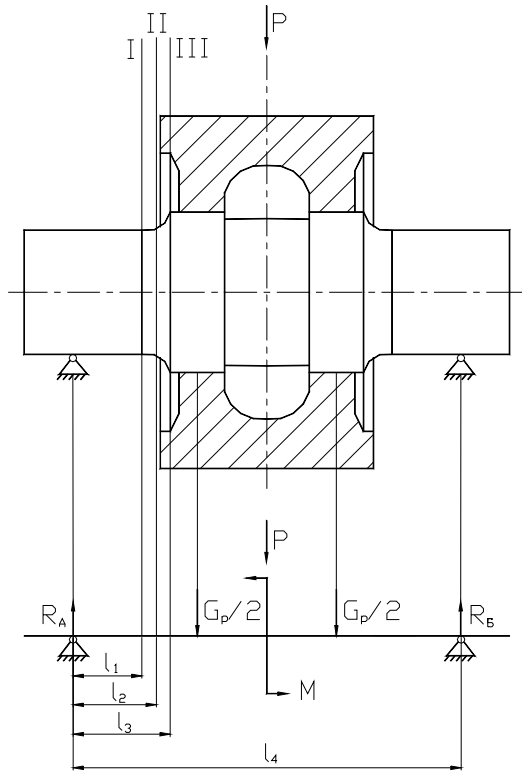


Рис. 3.1 Схема нагуження осі опорного ролика.

Згинальний момент від осьової сили

$$M = A \times R_P = 484,4 \times 103 \times 0,85 = 412 \times 103 \text{ Н} \times \text{м}; (3.3)$$

Максимальну реакцію опор знаходимо по формулі:

$$R_A = \frac{P}{2} + \frac{G_p}{2} + \frac{M}{l} = \frac{2424 \times 10^3}{2} + \frac{1,76 \times 10^5}{2} + \frac{412 \times 10^3}{2,25} = 1483 \times 10^3 \text{ Н}; \quad (3.4)$$

Де  $l$  – відстань між опорами, приймаємо  $l = 2,25 \text{ м}$ .

Моменти опору перерізів I, II:

$$W_I = 0,1 d^3 I = 0,1 \times 930^3 = 8,04 \times 10^7 \text{ мм}^3 ;$$

$$W_{II} = 0,1 d^3 II = 0,1 \times 1000^3 = 10^8 \text{ мм}^3 ;$$

Де  $d$   $d_{II}$  - діаметри осі в перерізах I, II,  $d = 930 \text{ мм}$ ,  $d_{II} = 1000 \text{ мм}$ .

Нормальні напруження в перерізі I визначимо по виразу

$$\sigma = \frac{R_A \times l_I}{W_I} = \frac{1483 \times 10^3 \times 550}{8,04 \times 10^7} = 10,14 \text{ МПа}; \quad (3.5)$$

Запас міцності одержимо по формулі з урахуванням ослаблення перерізу жолобником:

$$n = \frac{\sigma_{-1} \times k_d \times k_v}{\sigma \times k_\sigma} = \frac{250 \times 0,5 \times 1}{10,14 \times 2,5} = 4,9 ; \quad (3.6)$$

де  $\sigma_{-1}=250$  МПа (сталь 40Х);

$k_\sigma$   $k_d$   $k_v$  - ефективні коефіцієнти концентрації напруження для жолобника, впливу абсолютних розмірів поперечного перерізу (масштабний фактор), впливу стану поверхневого зміцненого шару.

Для визначення коефіцієнтів приймемо радіус жолобника  $r=20$  мм, тоді

$$r/d_{11}=20/930=0,0215;$$

$$d_1/d_{11}=1000/930=1,075;$$

Знаходимо коефіцієнт концентрації напруження: при виготовленні осі зі сталі 40Х  $\sigma_B=600$  МПа,  $k_\sigma=2,5$ . Одержуємо коефіцієнт впливу абсолютних розмірів,  $k_d=0,5$ . Коефіцієнт впливу поверхневого зміцнення  $k_v=1$ .

У перерізі I запас міцності більше припустимого  $[n]=1,5$ . В інших перерізах запаси міцності ще більше.

### 3.3 Розрахунок бандажів.

Максимальний згинальний момент у перерізі бандажа над опорним роликом визначим по формулі:

$$M_{из}=a_b \times Q_{max} \times R = 0,08 \times 4200 \times 103 \times 2,25 = 0,6 \times 10^6 \text{ Н} \times \text{м} ; \quad (3.7)$$

де  $R$  - внутрішній радіус бандажа,  $R=2,25$  м.

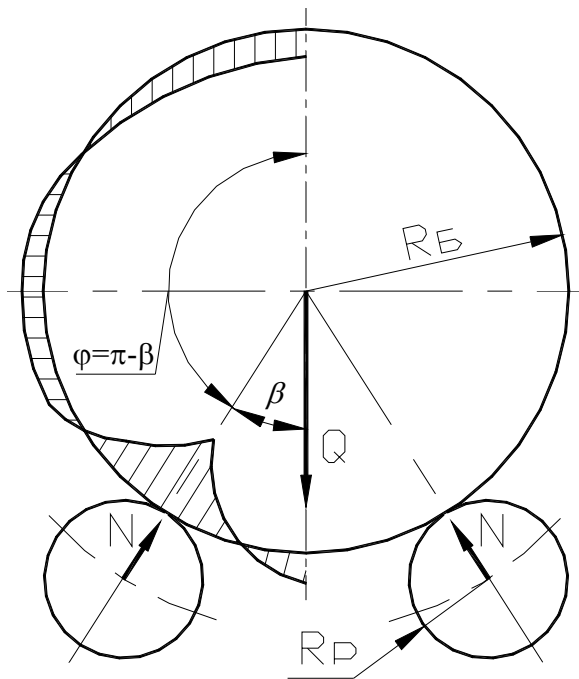


Рис. 3.2 Епюра згинальних моментів для кільця, навантаженого ваговим центральним навантаженням і опорними реакціями.

Момент опору перерізу бандажа

$$W_6 = \frac{b_6 \times h^2}{6} = \frac{0,8 \times 0,485^2}{6} = 0,0313 \text{ м}^3 ; \quad (3.8)$$

де  $b_6$  - ширина бандажа,  $b_6=0,8$  м;

$h$  - товщина бандажа,  $h=R_6 - R=2,735 - 2,25=0,485$  м;

Максимальні напруження згину

$$\sigma_{из} = \frac{M_{из}}{W} = \frac{0,756 \times 10^6}{0,0313} = 24 \text{ МПа} ; \quad (3.9)$$

Необхідні для беззazorного з'єднання нагрітих бандажа і подбандажної обичайки теплові кільцеві зазори визначаємо на опорі I (у холодній зоні) і на опорі IV (у гарячій) по рівнянню:

$$\Delta_x = 2 \times \alpha \times (R_k \times t_k^x - R_{6,c} \times t_6^x) = \quad (3.10)$$

$$= 2 \times 12 \times 10^{-6} \times (2,25 \times 100 - 2,4925 \times 50) = 2,4 \times 10^{-3} \text{ м} ;$$

$$\Delta_r = 2 \times \alpha \times (R_k \times t_k^r - R_{6,c} \times t_6^r) = \quad (3.11)$$

$$= 2 \times 12 \times 10^{-6} \times (2,25 \times 350 - 2,4925 \times 200) = 6,93 \times 10^{-3} \text{ м};$$

Де  $\alpha$  - коефіцієнт лінійного розширення для сталі,  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ ;

$R_k$  - зовнішній радіус під бандажною обичайкою з урахуванням товщини прокладок,  $R_k = R = 2,25 \text{ м}$ ;

$$R_{б.с.} - \text{середній радіус бандажа, } R_{б.с.} = \frac{R_6 + R}{2} = \frac{2,735 + 2,25}{2} = 2,4925 \text{ м};$$

$t_{xk}, t_{x6}, t_{rk}, t_{r6}$  - температури корпусу і бандажа в холодній і гарячій зонах, відповідно до рекомендацій приймаємо  $t_{xk} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{x6} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{rk} = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{r6} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Знайдені значення теплового зазору забезпечують беззазорне з'єднання бандажа і підбандажної обичайки в нагрітому стані з нульовим натягом. Якщо прийняти зазори на  $\Delta = 6 \text{ мм}$  менше, те забезпечиться посадка бандажа на підбандажну обичайку з тепловим натягом. При цьому відповідно до формули максимально можливий питомий тиск

$$q_T = \frac{\delta}{\frac{\alpha_1 - \mu_1}{E_1} - \frac{\alpha_2 - \mu_2}{E_2}} = \frac{1,3 \times 10^{-3}}{\frac{8,62 - 0,3}{1,8 \times 10^{11}} - \frac{5,1 - 0,3}{1,8 \times 10^{11}}} = 17,8 \text{ МПа}; \quad (3.12)$$

$$\text{де } \delta - \text{відносний натяг, } \delta = \frac{\Delta}{2 \times R} = \frac{6 \times 10^{-3}}{2 \times 2,25} = 0,00133 \text{ м};$$

$$\alpha_1 = \frac{1 + c_1^2}{1 - c_1^2} = \frac{1 + 0,89^2}{1 - 0,89^2} = 8,62; \quad \alpha_2 = \frac{1 + c_2^2}{1 - c_2^2} = \frac{1 + 0,82^2}{1 - 0,82^2} = 5,1; \quad (3.13)$$

$$c_1 = \frac{D_b}{D} = \frac{4,04}{4,5} = 0,89; \quad c_2 = \frac{D}{D_n} = \frac{4,5}{5,47} = 0,82; \quad (3.14)$$

де  $D$  - внутрішній діаметр бандажа,  $D = 2 \times R = 2,25 \times 2,25 = 4,5 \text{ м}$ ;

$D_n$  - зовнішній діаметр бандажа,  $D_n = 2R_6 = 2 \times 2,735 = 5,47 \text{ м}$ ;

$D_b$  - внутрішній діаметр під бандажною обичайкою,  $D_b = 4,04 \text{ м}$ ;

$E$  - модуль пружності для сталі при температурі близько  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$$E_1 = E_3 = 1,8 \times 10^{11} \text{ Па};$$

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона для матеріалу бандажа і під бандажною обичайки,  
 $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$ .

Далі визначимо напруження в бандажі, викликані тепловим натягом. Напруги на внутрішній поверхні бандажа одержуємо, використовуючи рівняння:

нормальне

$$\sigma_0^B = \frac{1 + c_2^2}{1 - c_2^2} \times q_T = \frac{1 + 0,82^2}{1 - 0,82^2} \times 17,8 \times 10^6 = 90,8 \text{ МПа ; } (3.15)$$

радіальне

$$\sigma_r^B = -\sigma_T = 17,8 \text{ МПа ;}$$

Напруги на зовнішній поверхні бандажа знаходимо по формулі

нормальне

$$\sigma_0^H = \frac{2 \times c_2^2}{1 - c_2^2} \times q_T = \frac{2 \times 0,82^2}{1 - 0,82^2} \times 17,8 \times 10^6 = 73,07 \text{ МПа ;}$$

радіальне

$$\sigma_r^H = 0 .$$

Еквівалентні напруження на внутрішній поверхні бандажа

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{экв}} &= \sqrt{(\sigma_0^B + \sigma_H)^2 - (\sigma_r^B)^2 - (\sigma_0^B + \sigma_H) \times (\sigma_r^B)} = \\ &= \sqrt{(90,8 \times 10^6 + 24 \times 10^6)^2 - (17,8 \times 10^6)^2 - (90,8 \times 10^6 + 24 \times 10^6) \times (17,8 \times 10^6)} = \\ &= 113,4 \text{ МПа;} \end{aligned}$$

Напруження, що допускаються, при виконанні бандажа зі сталі 20 ГСЛ  
[ $\sigma$ ]=250Мпа (забезпечується запас міцності більше 3).

### 3.4 Розрахунок гідроупорів

Сила, необхідна для переміщення печі гідроупорами, визначається по формулі:

$$P_{\text{сд}} = G_{\text{об}} \times i = 16,6 \times 106 \times 0,04 = 0,64 \times 106 \text{ Н ; } (3.16)$$

Умовно вважаємо, що ця сила повинна створюватися одним гідроупором, хоча загальна кількість гідроупорів дорівнює 4:



$$P_{сд}=P'_{сд}=0,64 \times 10^6 \text{ Н.}$$

Контактні напруження (рис. 3.3) у парі бандаж - упорний ролик знаходимо по формулі:

$$\sigma_k = 0,418 \sqrt{q \times E \times \frac{R_{\delta}^H + R_p^H}{R_{\delta}^H \times R_p^H}} =$$

$$= 0,418 \sqrt{2,65 \times 10^6 \times 2 \times 10^{11} \times \frac{12,25 + 0,573}{12,25 \times 0,573}} = 411 \text{ МПа ;}$$

Де  $q$  - тиск у парі бандаж - упорний ролик,  $q = \frac{P_{с.д}}{b} = \frac{0,64 \times 10^6}{0,25} = 2,65 \times 10^6 \text{ Н/м ;}$   
 $b$  - ширина упорного ролика,  $b=0,25 \text{ м;}$

$R_{\delta}$  і  $R_p$  - радіуси поверхонь качення бандажа і ролика в площині, нормальній до лінії їхнього контакту.

Для визначення цих розмірів необхідно знати середній радіус упорної поверхні бандажа,

$$R_{\delta}^{\text{ср}} = R_{\delta} - \frac{b}{2} = 2,735 - \frac{0,25}{2} = 2,61 \text{ м;}$$

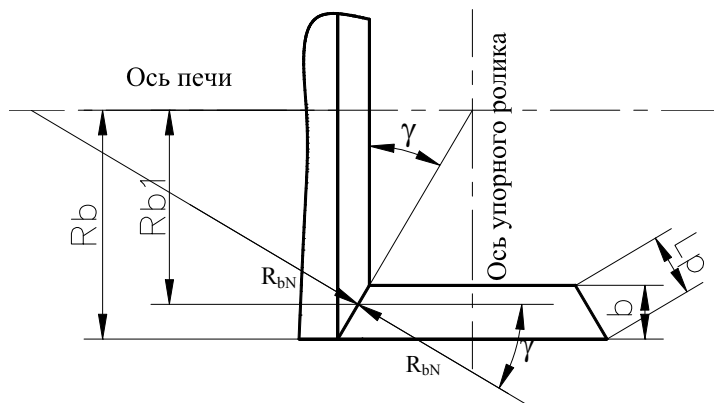


Рис. 3.3 Розрахункова схема для визначення контактних напруження у парі бандаж - упорний ролик.

Тоді по формулах при радіусі упорного ролика  $R_p - y=0,6 \text{ м}$  одержимо,

$$\text{tg}(\gamma) = \frac{R_{p,y}}{R_{\delta}} = \frac{0,6}{2,735} = 0,219$$

$$\gamma = \arctg(0,219) = 12,3^\circ ;$$

$$R_p^H = \frac{R_{cp}^{\sigma} \times \operatorname{tg}(\gamma)}{\cos(\gamma)} = \frac{2,61 \times \operatorname{tg}(12,3)}{\cos(12,3)} = 0,573 \text{ м ;}$$

$$R_6^H = \frac{R_{cp}^{\sigma}}{\sin(\gamma)} = \frac{2,61}{\sin(12,3)} = 12,254 \text{ м ;}$$

Допустимі контактні напруження при твердості поверхонь бандажа і упорного ролика HB>160 складуть, як було раніше визначене,  
 $[\sigma_k]=660 \text{ МПа} > \sigma_k=411 \text{ МПа}$ .

Міцність цапфи упорного ролика при зовнішньому діаметрі  $D_0=0,4 \text{ м}$  і внутрішньому  $d_0=0,22 \text{ м}$  перевіряємо в перерізі, де циліндрична частина переходить у конічну. Згинальний момент у цьому перерізі:

$$M_1 = P_{cd} \times (h - h_1) = 2,65 \times 106 \times (0,45 - 0,325) = 3,3 \times 10^5 \text{ Н} \times \text{м ;}$$

У конструкції упорного ролика печі  $4,5 \times 80 \text{ м}$   $h=0,45 \text{ м}$ ,  $h_1=0,325 \text{ м}$ . Момент опору цього перерізу

$$W_1 = 0,1 \times \frac{D_0^4 - d_0^4}{D_0} = 0,1 \times \frac{0,4^4 - 0,22^4}{0,4} = 5,91 \times 10^{-3} \text{ м}^3 ;$$

Напруження згину

$$\sigma = \frac{M_1}{W_1} = \frac{3,3 \times 10^5}{5,91 \times 10^{-3}} = 55,8 \text{ МПа ;}$$

Допустимі напруження приблизно на порядок вище, тому запас міцності не визначаємо з зв'язку малих напружень у перерізі. В інших перерізах напруження будуть ще менше.

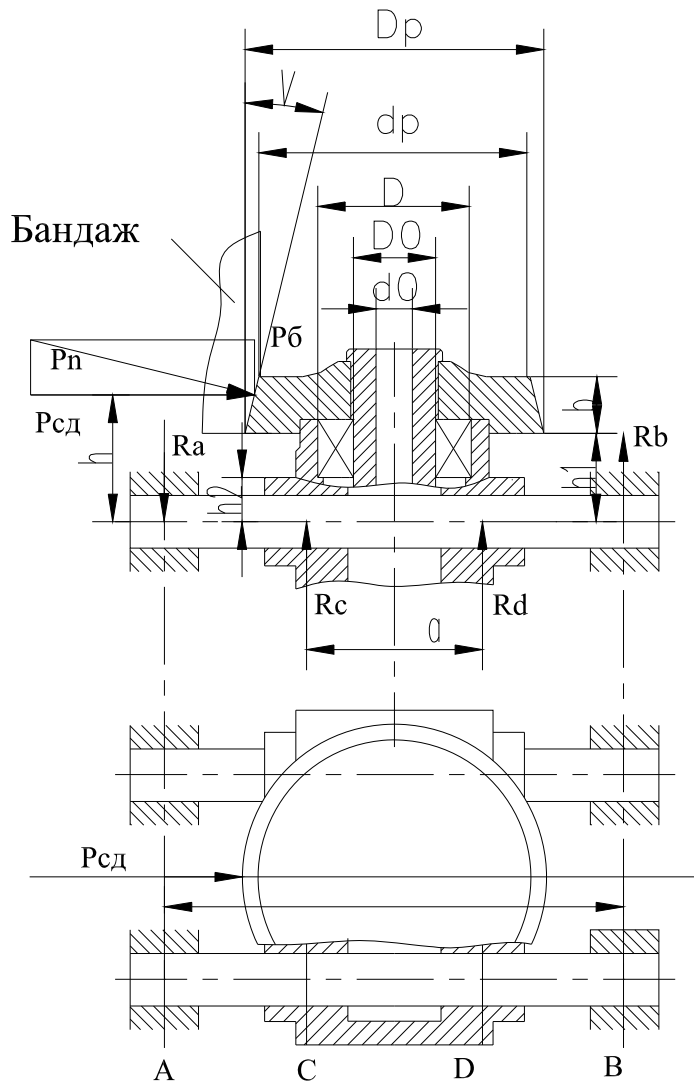


Рис. 3.4 Розрахункова схема упорного ролика

Перевірку міцності напрямних упорного ролика робимо для випадку, коли ролик знаходиться посередині направляючої (рис.3.4). Для визначення максимального згинаючого моменту, що діє в перерізі D, знаходимо зусилля  $R_c$ ,  $R_d$  при наступних геометричних розмірах:  $a=0,89$  м;  
 $d_{py}=D_{py} - 2b \times \text{tg}(Y)=1,2 - 2 \times 0,25 \times 0,219=1,091$  м ;

Тоді одержимо такі зусилля

$$R_c = \frac{P_{сд} \times h}{2 \times a} - \frac{P_b}{2 \times a} \times \left( \frac{D_{p.y} + d_{p.y}}{4} + \frac{a}{2} \right) = \quad (3.19)$$

$$= \frac{0,64 \times 10^6 \times 0,45}{2 \times 0,89} - \frac{1,4 \times 10^5}{2 \times 0,89} \times \left( \frac{1,2 + 1,091}{4} + \frac{0,89}{2} \right) = 0,81 \times 10^5 \text{ Н} ;$$

$$R_D = \frac{P_{сд} \times h}{2 \times a} - \frac{P_B}{2 \times a} \times \left( \frac{D_{p,y} + d_{p,y}}{4} - \frac{a}{2} \right) = \quad (3.20)$$

$$= \frac{0,64 \times 10^6 \times 0,45}{2 \times 0,89} - \frac{1,4 \times 10^5}{2 \times 0,89} \times \left( \frac{1,2 + 1,091}{4} - \frac{0,89}{2} \right) = 1,51 \times 10^5 \text{ Н} ;$$

$$R'_A = \frac{R_C}{1} \times \left( a + \frac{1-a}{2} \right) - \frac{R_D \times (1-a)}{2 \times 1} = \quad (3.21)$$

$$= \frac{0,81 \times 10^5}{2,03} \times \left( 0,89 + \frac{2,03 - 0,89}{2} \right) - \frac{1,51 \times 10^5 \times (2,03 - 0,89)}{2 \times 2,03} = 1,58 \times 10^4 \text{ Н} ;$$

$$R'_B = \frac{R_D}{1} \times \left( a + \frac{1-a}{2} \right) - \frac{R_C \times (1-a)}{2 \times 1} = \quad (3.22)$$

$$= \frac{1,51 \times 10^5}{2,03} \times \left( 0,89 + \frac{2,03 - 0,89}{2} \right) - \frac{0,81 \times 10^5 \times (2,03 - 0,89)}{2 \times 2,03} = 8,58 \times 10^4 \text{ Н} ;$$

Де  $P_B$  - вертикальна складова сили, що зрушує,

$$P_B = P_{сд} \times \text{tg}(\gamma) = 0,64 \times 10^6 \times 0,219 = 1,4 \times 10^5 \text{ Н} ;$$

Вага упорного ролика  $G_p = 1765 \times 10^3 \text{ Н}$  значно менше зусиль  $R_{сд}$ ,  $P_B$ , тому без великої погрішності нею можна зневажити.

Максимальний згинальний момент буде діяти в перерізі В:

$$M_B = R_B \times \frac{1-a}{2} = 8,58 \times 10^4 \times \frac{2,03 - 0,89}{2} = 4,89 \times 10^4 \text{ Н} \times \text{м} ;$$

Момент опору перерізу направляючої з діаметром  $d_n = 0,28 \text{ м}$  дорівнює

$$W_n = 0,1 \times d_n^3 = 0,1 \times 0,28^3 = 2,195 \times 10^{-3} \text{ м}^3 ;$$

Напруження згину в цьому перерізі

$$\sigma = \frac{M_B}{W_n} = \frac{4,89 \times 10^4}{2,195 \times 10^{-3}} = 22,28 \text{ МПа} ;$$

При виконанні напрямних зі сталі 45 границю витривалості при згині можна приймати  $\sigma_{-1} = 0,4 \sigma_B = 0,4 \times 600 = 240 \text{ МПа}$ , де межа міцності  $\sigma_u = 600 \text{ МПа}$ .

Запас міцності по границі витривалості

$$n = \frac{\sigma_{-1} \times k_d \times k_g}{\sigma} = \frac{240 \times 0,88 \times 1,1}{22,28} = 10,42$$
$$n = \frac{\sigma_{-1} \times k_d \times k_g}{\sigma} = \frac{240 \times 0,88 \times 1,1}{22,28} = 10,42 ; \quad (3.23)$$

де  $k_d$  - коефіцієнт впливу абсолютних розмірів поперечного перерізу,  $k_d=0,88$ ;  $k_v=1,1$ .

Робочий хід печі під дією гідроупорів  $l_x$  приймаємо рівним 0,07 м, час переміщення корпуса печі нагору  $t_p < 1$  ч, кількість усіх гідроциліндрів  $z_1=8$ , робочий тиск у гідроциліндрі  $p_{ж}=10$  МПа. Будемо вважати, що і один гідроупор повинен бути здатен переміщати піч вгору. Тоді  $z_1=2$ .

Необхідна площа кожного поршня

$$F_{п} = \frac{P_{сд}}{z_{\tau} \times p_{ж}} = \frac{0,64 \times 10^6}{2 \times 10} = 3,2 \times 10^4 \text{ мм}^2 ; \quad (3.24)$$

а необхідний діаметр

$$D_{п} = \sqrt{\frac{4 \times F_{п}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 3,2 \times 10^4}{3,1415}} = 201,85 \text{ мм} ; \quad (3.25)$$

Приймаємо  $D_{п.ф}=220$  мм, тоді необхідна продуктивність маслостанції,

$$Q = z_1 \times F_{п.ф} \times \eta = \frac{\pi \times D_{п.ф}^2 \times z_1}{4} \times \frac{l_x}{l_p} =$$
$$= \frac{3,1415 \times 0,22^2 \times 8}{4} \times \frac{0,07}{60} = 3,54 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{хв} = 35 \text{ л/хв} ; \quad (3.26)$$

### 3.5 Розрахунок подвеневої шестірні на міцність.

Цей розрахунок робиться відповідно до розрахункової схеми, представленої на рис. 3.5

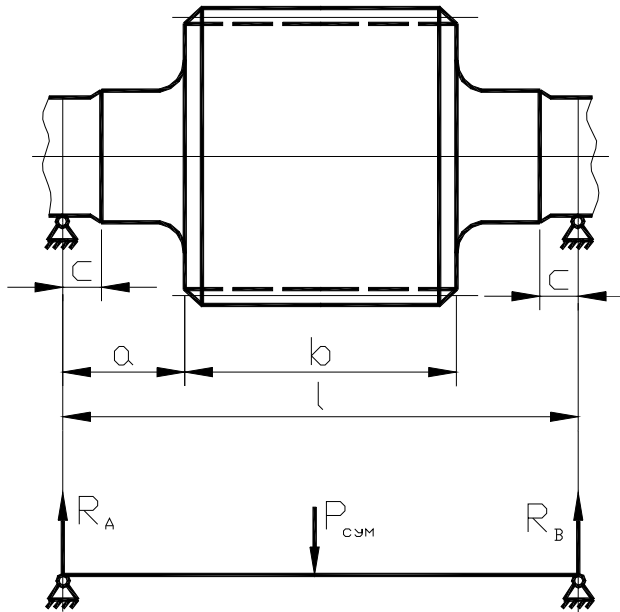


Рис. 3.5 Розрахункова схема подвеневої шестірні.

Визначаємо окружне зусилля

$$P_0 = \frac{2 \times M_T}{d_{ш}} = \frac{2 \times 1,38 \times 10^5}{1,25} = 2,2 \times 10^5 \text{ Н}; \quad (3.27)$$

Розпірне зусилля  $T = P_0 \times \tan(\alpha) = 2,2 \times 10^5 \times \tan(20^\circ) = 0,8 \times 10^5 \text{ Н};$

Сумарна згинаюча вал сила

$$P_{сум} = \sqrt{P_0^2 + T^2} = \sqrt{(2,2 \times 10^5)^2 + (0,8 \times 10^5)^2} = 2,34 \times 10^5 \text{ Н}; \quad (3.28)$$

де  $\alpha$  – кут зачеплення,  $\alpha = 20^\circ$ .

Оскільки вага шестірні складає приблизно 105 Н, округляємо значення  $P_{сум}$  до  $3,3 \times 10^5 \text{ Н}$ , тоді опорні реакції  $R_A = R_B = 1,65 \times 10^5 \text{ Н}$ .

Розміри валшестірні наступні:  $l = 1,730 \text{ м}$ ;  $d_a = 0,45 \text{ м}$ ;  $a = 0,438 \text{ м}$ ;  $d_c = 0,38 \text{ м}$ ;  $c = 0,119 \text{ м}$ .

Де  $d_c$ ,  $d_a$  – діаметри вала -шестірні в перерізах  $c$ ,  $a$ . Згинальний момент у перерізі  $c$ ,

$$M_c = R A \times c = 1,65 \times 105 \times 0,119 = 1,963 \times 10^4 \text{ Н} \times \text{м} ;$$

Момент опору перерізу  $c$ ,

$$W_c = 0,1 \times d^3 c = 0,1 \times 0,383 = 5,48 \times 10^{-3} \text{ м}^3 ;$$

Момент опору полярний

$$W_{p.c} = 2 \times W_c = 2 \times 5,48 \times 10^{-3} = 10,96 \times 10^{-3} \text{ м}^3 ;$$

Нормальне напруження в перерізі  $c$

$$\sigma_c = \frac{M_c}{W_c} = \frac{1,963 \times 10^4}{5,48 \times 10^{-3}} = 3,58 \text{ МПа} ;$$

Напруження кручення

$$\tau_c = \frac{M_{ш}}{W_{p.c}} = \frac{1,38 \times 10^5}{10,96 \times 10^{-3}} = 12,59 \text{ МПа} ;$$

Через мали значення напруг згину визначаємо запас міцності тільки по дотичних напруженнях. Концентратор напруження – жолобник з радіусом  $r=4$  мм,  $d=380$  мм,  $D=450$  мм:

$$\frac{r}{d} = \frac{4}{380} = 0,0105 ;$$

$$\frac{D}{d} = \frac{450}{380} = 1,18 ;$$

При виготовленні вал шестірні зі сталі 50 ( $\sigma_B=600$  МПа) коефіцієнт запасу міцності при крученні

$$s_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau \times \tau_a}{k_d \times k_\phi} + \psi_F \times \tau_m} = \frac{182}{\frac{1,25 \times 6,3}{0,5 \times 1} + 0,05 \times 6,3} = 11,32 ; \quad (3.29)$$

Де  $\tau - \tau = 0,25 \times \sigma_B = 0,25 \times 600 = 150$  Мпа;

$$k_\tau = 1,25;$$

$k_d$  - коефіцієнт впливу абсолютних розмірів,  $k_d = 0,5$ ;

$k_v$  - коефіцієнт впливу поверхневого зміцнення,  $k_v = 1$ ;

$\tau_a = \tau_m = 0,5 \times \tau_c = 0,5 \times 12,59 = 6,3$  МПа - амплітудне і середнє значення напружень при крученні для валів, що працюють без реверсування;

$\psi\tau$  - коефіцієнт чутливості до асиметрії циклу напруг,  $\psi\tau=0,05$  при  $\sigma_B > 700$  МПа.  
Допускається значення запасу міцності  $[s] > 2,5$ . Таким чином, міцність перерізу є достатня.

Розглянемо тепер переріз а.

Згинальний момент у перерізі,

$$M_a = R_a \times A = 1,65 \times 105 \times 0,438 = 7,22 \times 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

Момент опору згину,

$$W_a = 0,1 \times d^3 \alpha = 0,1 \times 0,453 = 9,1 \times 10^{-3} \text{ м}^3 ;$$

Момент опору крученню,

$$W_{p.a} = 2 \times W_a = 2 \times 9,1 \times 10^{-3} \text{ м}^3 ;$$

Нормальне напруження в перерізі а,

$$\sigma_a = \frac{M_a}{W_a} = \frac{7,22 \times 10^4}{9,1 \times 10^{-3}} = 7,94 \text{ МПа} ;$$

Напруження кручення,

$$\tau_a = \frac{M_{ш}}{W_{p.a}} = \frac{1,38 \times 10^5}{18,2 \times 10^{-3}} = 7,58 \text{ МПа} ;$$

У перерізі а концентратор напруження - жолобник,  $r=90$  мм,  $d=450$  мм,  $D=943$  мм, тоді

$$\frac{r}{d} = \frac{90}{450} = 0,2 ;$$

$$\frac{D}{d} = \frac{943}{450} = 2,1 ;$$

Коефіцієнти концентрації:  $k_\sigma=2,6$ ;  $k_\tau=1,9$ ; коефіцієнти впливу абсолютних розмірів:  $k_d\sigma=k_d\tau=0,47$ ;

$$\sigma_a = \tau_m = \frac{\tau_A}{2} = \frac{7,58 \times 10^6}{2} = 3,79 \times 10^6 \text{ МПа} ;$$

$\psi=0,05$ ;  $\sigma_{-1}=300$  МПа. Запас міцності по напруженнях згину,

$$s_n = \frac{\sigma_{-1} \times k_d \times k_g}{k_\sigma \times \sigma_a} = \frac{300 \times 0,47 \times 1}{2,6 \times 7,94} = 6,83 ;$$



$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau} \times \tau_a}{k_d \times k_g} + \psi_F \times \tau_m} = \frac{182}{\frac{1,9 \times 7,58}{0,47 \times 1} + 0,05 \times 3,79} = 5,9$$

Загальний запас опору втоми

$$s_E = \frac{s_n \times s_\tau}{\sqrt{s_n^2 + s_\tau^2}} = \frac{6,83 \times 5,9}{\sqrt{6,83^2 + 5,9^2}} = 11,32$$

, що припустимо.

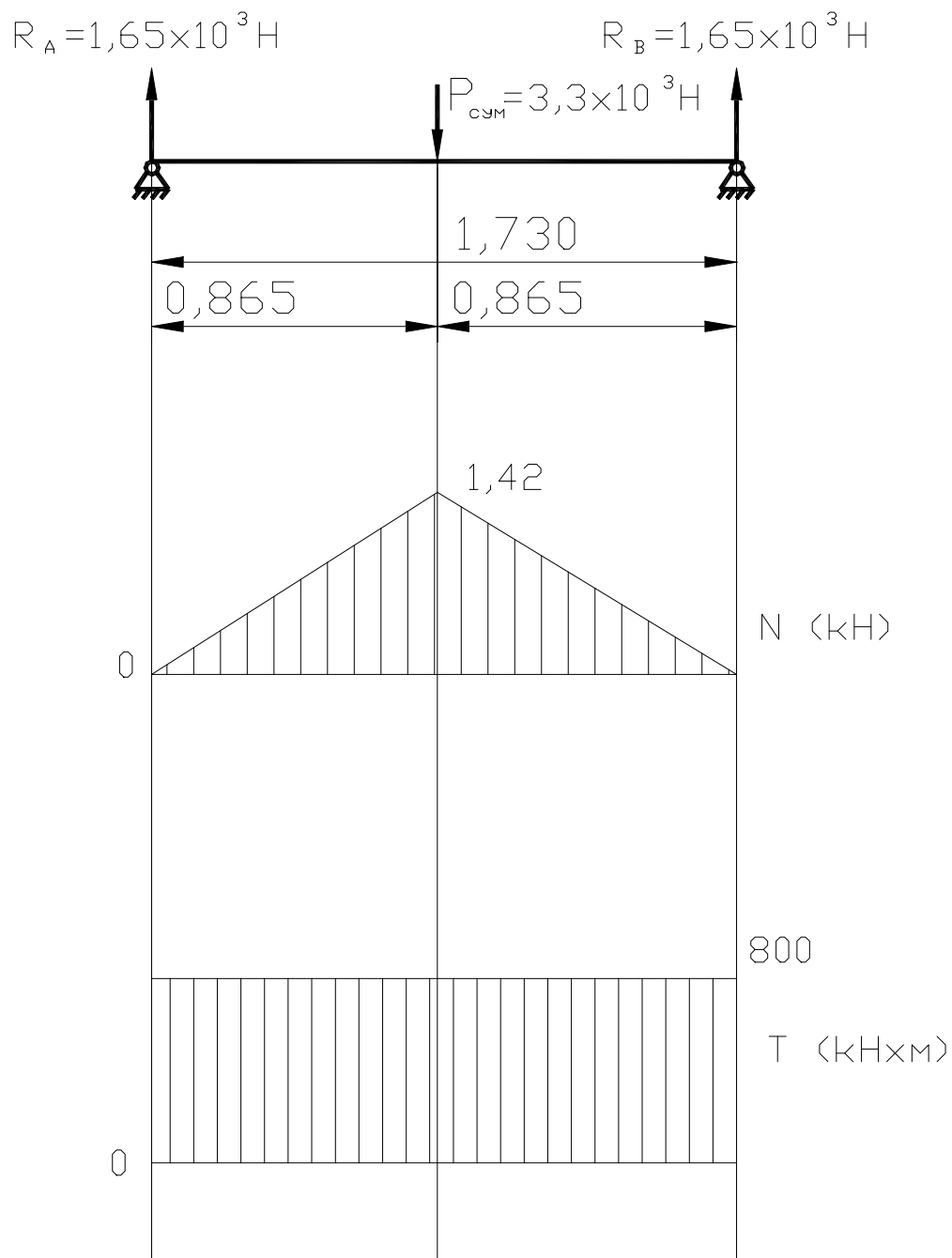


Рис. 3.6 Епюра навантажень підвеневої шестерні.

## **4. РОЗРОБКА ВУЗЛА КОНСТРУКЦІЇ В СИСТЕМІ AUTOCAD**

### **Завдання до розробки системи**

Розробити програмне забезпечення для проектування обертової печі. Програму виконати на функціональній мові AutoLISP в програмному середовищі AutoCAD.

Програмне забезпечення має містити автоматизовану систему що забезпечує:

- 1) можливість вводу вихідних розмірів засобами багаторівневого віконного меню та графічних засобів;
- 2) оперативну обробку проектної документації, виконаної в системі AutoCAD;
- 3) можливість доповнення системи програмами для виконання креслень нових деталей без суттєвого доопрацювання системи;
- 4) побудова твердотільної моделі типу SOLID для подальшого нанесення сіткової області та проведення розрахунків на міцність;
- 5) вихідні тексти програм повинні бути написані на функціональному мовою AutoLISP і орієнтовані на використання в середовищі AutoCAD.

### **Структура програмного модулю**

Розроблена система надає можливість виконувати параметризовані креслення за допомогою задання значень параметрів або їх корегуванням. Введення і коректування задається інформації здійснюється в інтерактивному режимі з використанням діалогових вікон AutoCAD. Введення чисельних величин здійснюється з екрану і рядків підказок.

Система розміщена в каталозі C:\KP\. У каталозі KP повинні знаходитися файли «dialog\_kiln.DCL», «2d\_kiln.lsp», «3d\_kiln.lsp», «kp.lsp», в яких містяться програми. Крім того в каталозі також знаходяться файли: «detal.sld», «dan.txt».

Програмні коди усіх файлів наведені в **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

У програмах використовуються наступні підпрограми:

(prov\_vv) – виконує перевірку правильності вводу числових значень;

(2d) – побудова 2D креслення деталі;

(3d) – побудова 3D креслення деталі;

(perem\_blok) – створення блоків та операції над ними;

## Підготовка середовища AutoCAD

Створюємо середовище AutoCAD, яке визначається опціями (див. табл.5.1)

Таблиця 5.1 – Системні змінні AutoCAD

Системні змінні	Значення	Результат
OSMODE	0	Не встановлюється код об'єктної фіксації
APERTURE	3	Висота прицілу об'єктної прив'язки в пікселях
PICKBOX	3	Висота прицілу вибору об'єкта в пікселях
UCSFOLLOW	0	При зміні ПСК вид не змінюється
DIMTON	0	Текст поза продовжень горизонтальний
DIMASO	1	Управління створенням розмірних примітивів
DIMTAD	1	Розміщення тексту над розмірною лінією
DIMEXE	2	Продовження на розмірну лінію
DIMASZ	5	Розмір стрілки
DIMTXT	5	Висота тексту
DIMGAP	2	Відстань між розмірною лінією і текстом

## Блок-схема програми

Блок-схема програми приведена на (див. рис. 5.1). Вона складається з блоків:

виклик діалогового вікна;

введення даних;

перевірка даних;

збереження даних в файл;

побудова 2D/3D;

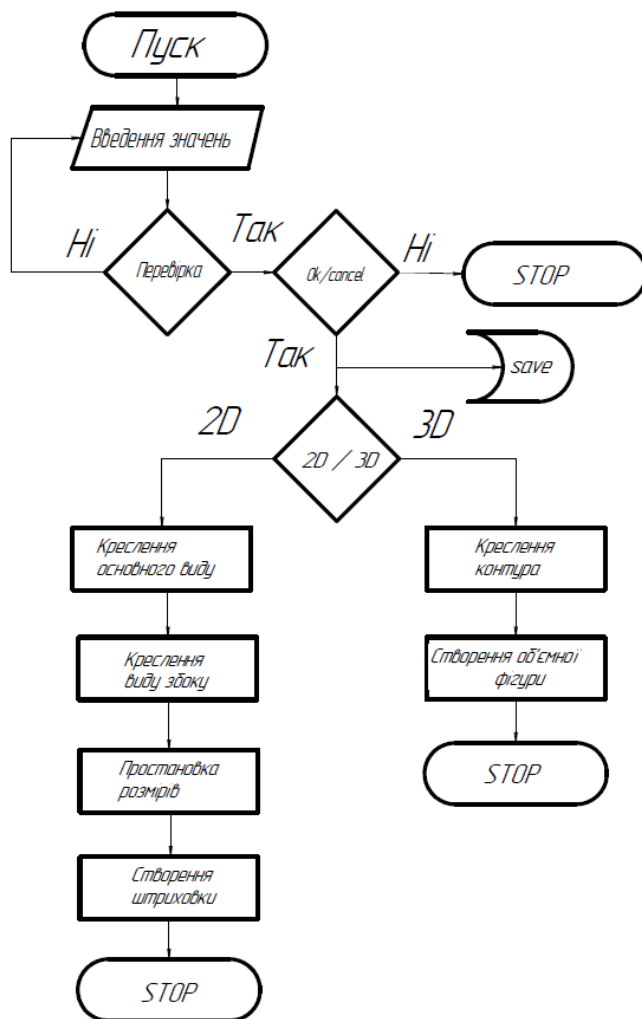


Рисунок 4.1 – Блок-схема програми

## Розрахункова схема

Розрахункова схема для приводу зображена на рис.5.2Рисунок 4.2. Відповідно вказаних точок розроблена програма на функціональній мові AutoLISP, яка приведена в Додатку В. Базова точка розміщена на осі обертання.

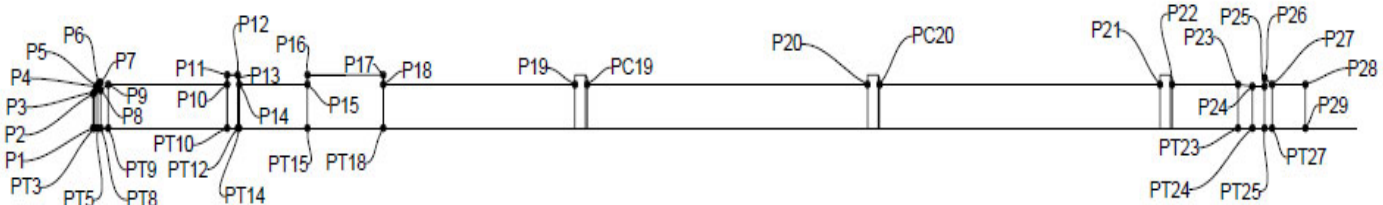


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема

## Опис роботи системи

При запуску програми на екрані з'являється діалогове вікно (рис.5.3). Формат цього діалогового вікна визначається в файлі «dialog\_kiln.dcl».

Дане вікно складається з трьох частин:

Ескіз ролика та його параметри – відображає назву формальних параметрів.

Використовується слайд, записаний в файлі «detal.sld».

Виконання – вміщує такі клавіші керування: «Масштаб», «Перевірка», «2D», «3D», «Reset», «Cancel».

Поля задання розмірів, для зручності поділено на дві підгрупи: «Довжини», «Діаметри».

Зміна параметрів креслення виконується вибором одного з дійсних значень або вводом необхідного значення параметра в відповідну комірку діалогового вікна. Для зміни параметра в діалоговому вікні потрібно за допомогою миші

підвести курсор до відповідного вікна і натиснути ліву клавішу на миші. Після цього з клавіатури вводиться нове значення.

Поле «Масштаб» включає в себе набір, що визначає допустимі масштаби креслення. За замовчуванням встановлений масштаб М1:4.

При зміні хоча б одного розміру, кнопки «2D» і «3D» автоматично заморожуються, тим самим роблячи необхідним виклик перевірки.

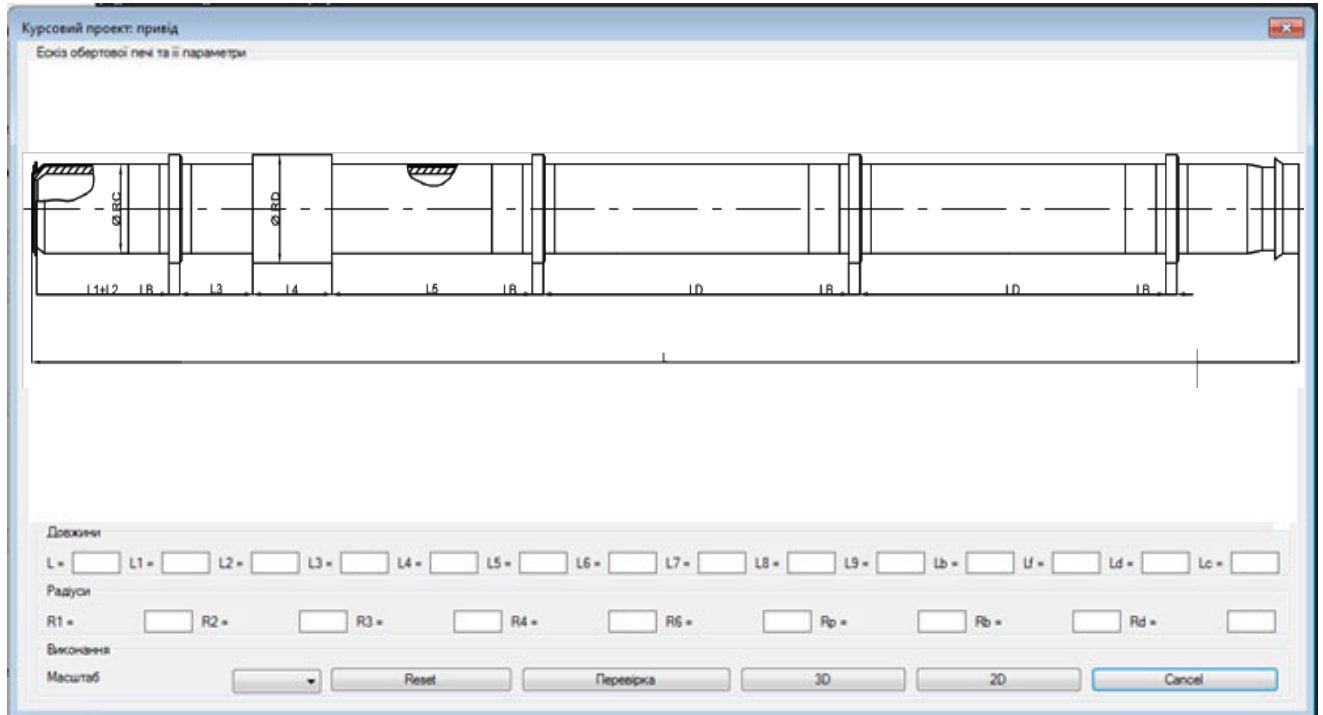


Рисунок 4.3 – Головне діалогове вікно

Базова точка задається за допомогою лівої клавіші миші на робочому просторі AutoCAD. Отримане креслення є стандартним та з ним можна працювати використовуючи будь-які команди AutoCAD.

### Тестування програми

На рис.Рисунок та рис.Рисунок 4.4 показано результат 2D та 3D креслення приводу відповідно.

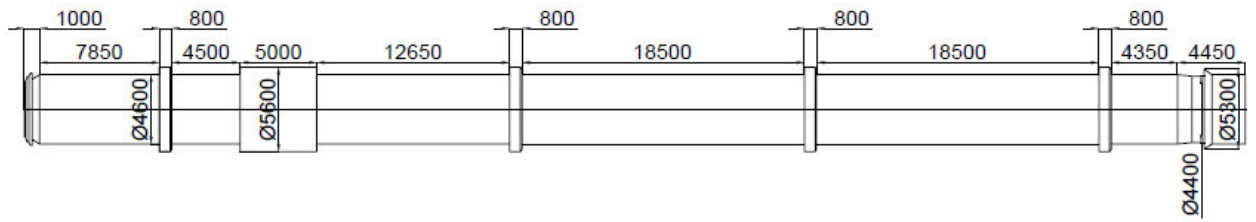


Рисунок 4.4 – 2D креслення приводу

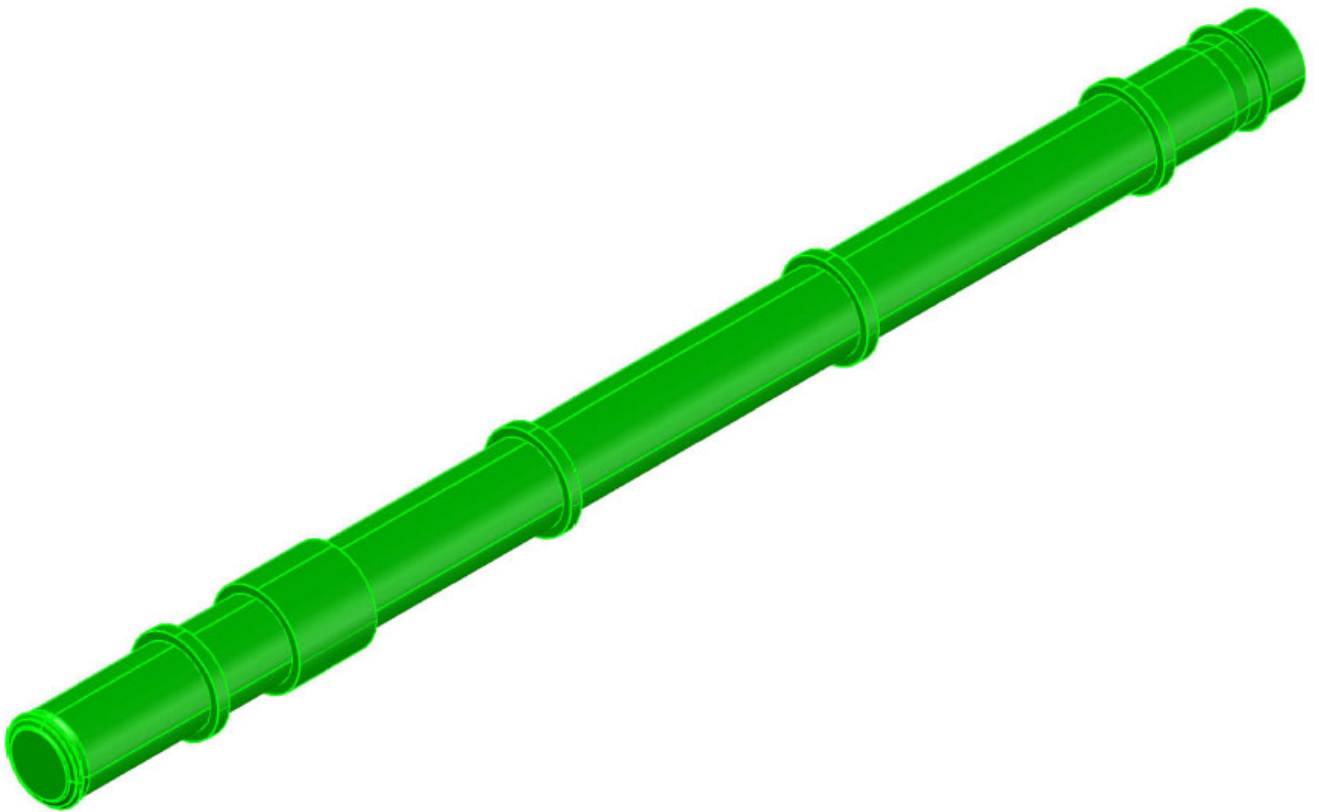


Рисунок 4.4 – 3D креслення обертної печі з встановленим двигуном



## **5. РОЗРАХУНОК ВУЗЛА КОНСТРУКЦІЇ В СИСТЕМІ ANSYS**

### **Вибір розрахункової схеми**

Метод скінченних елементів (МСЕ) є потужним та надійним засобом дослідження поведінки конструкцій в умовах різних навантажень та закріплень. На даний час на ринку програмного забезпечення існує велика кількість комплексів МСЕ, в тому числі ANSYS, NASTRAN, ABAQUS, COSMOS та інші. Традиційно ці продукти відносяться до категорії CAE (Computer Aided Engineering) програмного забезпечення, яке застосовується при проектуванні машинобудівних, будівельних та інших конструкцій [10].

Розрахунки виконані в середовищі ANSYS Workbench з попередньо побудованою 3D моделлю в програмному комплексі AutoCAD.

Ефективність методу скінчених елементів, що використовується при розрахунку даної задачі, залежить від розміру матриці жорсткості і ширини її стрічки. Ці величини визначаються кількістю і порядком нумерації вузлів сіткової області, якою представлена досліджувана конструкція.

Конструкція, що розглядається, є симетричною, тому для зведення до мінімуму машинного часу та розміру матриці жорсткості, необхідно розглядати тільки половину виробу, отриману шляхом його розділу вертикальною площиною симетрії.

При цьому в скінчених елементах, що знаходяться в площині симетрії встановлюють зв'язки перпендикулярні цьому напрямку.

Враховуючи, що конструкція корпусу обертової печі складається із циліндричної оболонки, бандажу та вінцевої шестерні, моделюємо її кількома фрагментами, котрі спряжені між собою і займають увесь об'єм досліджуваної конструкції.

Задаємо закріплення та напрям сили тяжіння.

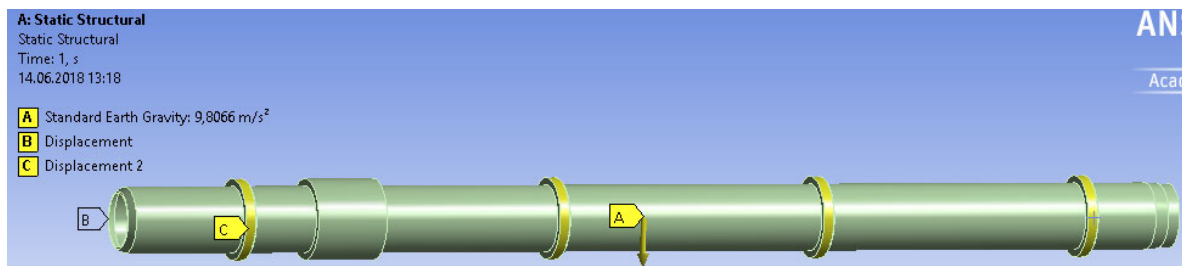


Рисунок 5.1 – Граничні умови

Виконуємо розрахунок:

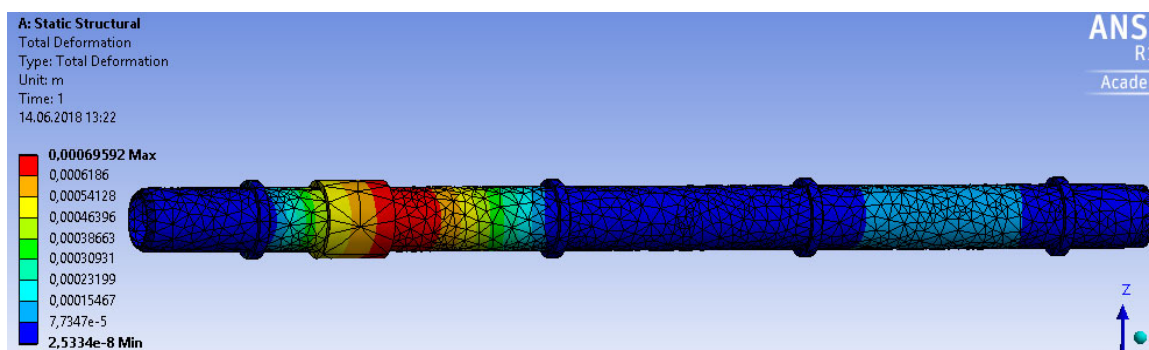


Рисунок 5.2 – Деформації обертової печі

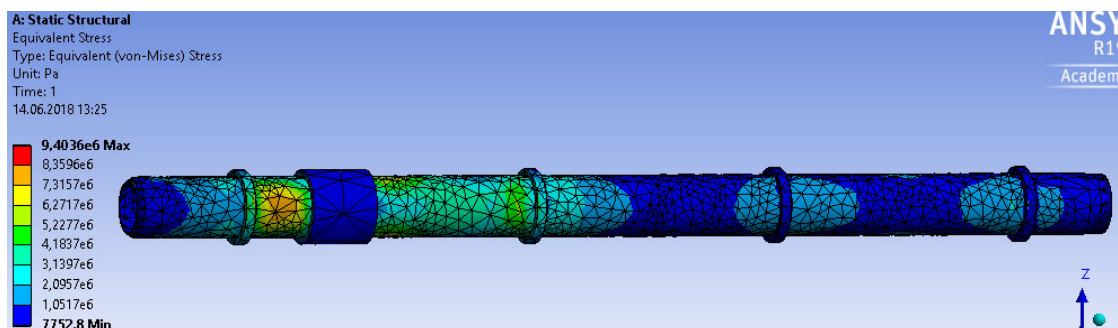


Рисунок 5.3 – Напруження в обертовій печі

## Розрахунок від дії власної ваги та температури:

Спочатку виконуємо тепловий розрахунок:

Задаємо граничні умови:

вільну конвекцію на зовнішню поверхню печі та температуру на внутрішню поверхню футерування (температуру задаємо в таблицю). Коефіцієнт теплопровідності футерування  $\alpha=0,4 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}$ .

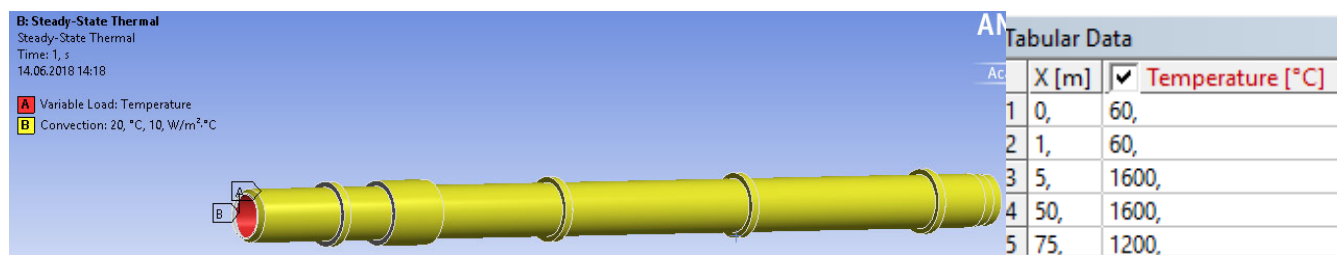


Рисунок 5.4 – Граничні умови

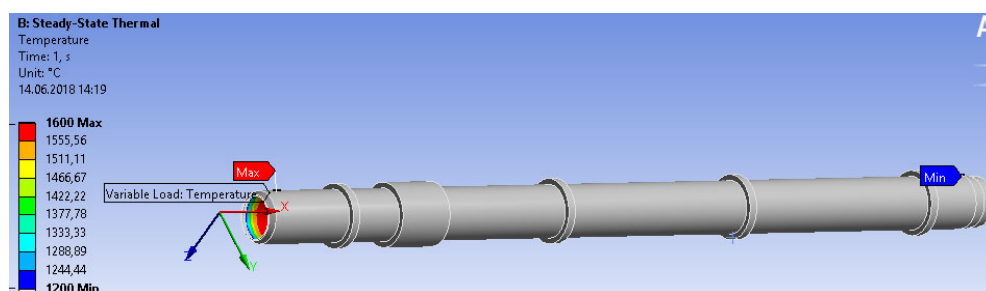


Рисунок 5.5 – Граничні умови

Виконуємо тепловий розрахунок:

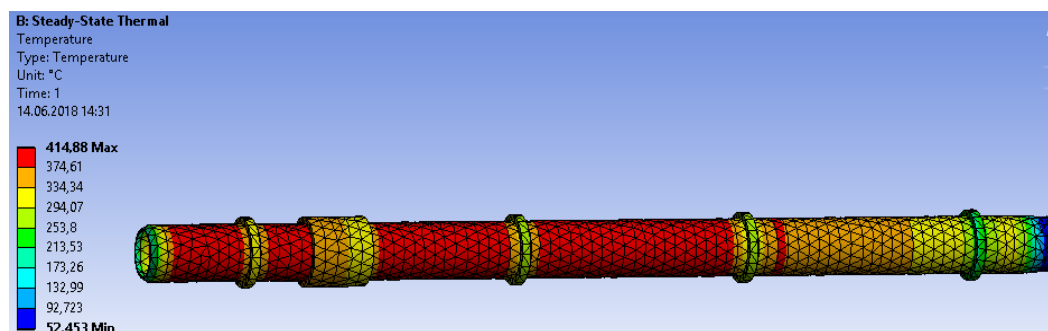


Рисунок 5.6 – Розподіл полів температури

## Виконуємо міцнісний розрахунок:

Закріплення та силу тяжіння повторюємо із розрахунку напружень лише від дії власної ваги.

Імпортуємо температурне навантаження:

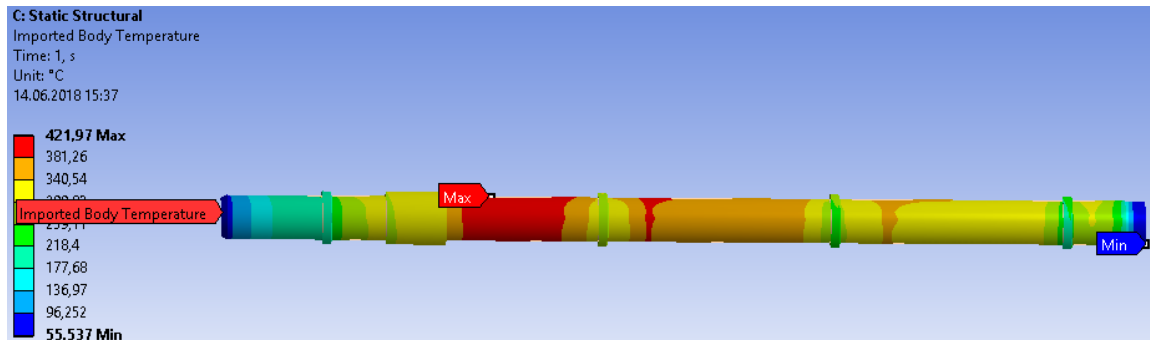


Рисунок 5.7 – Розподіл температури по корпусу печі

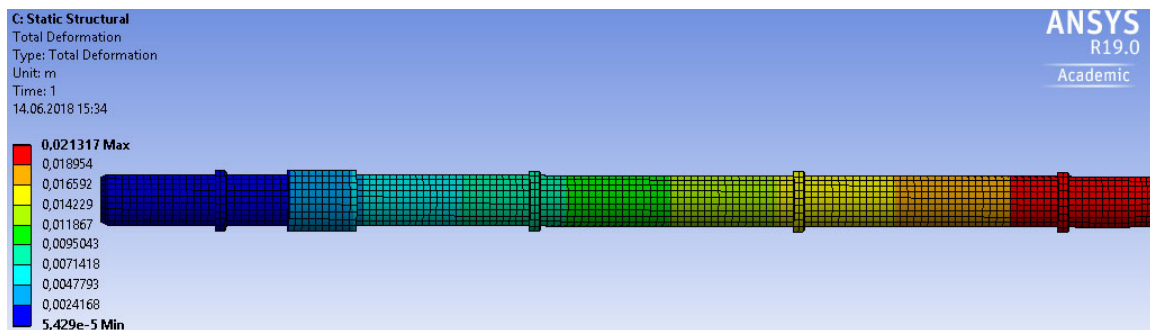


Рисунок 5.8 – Деформації обертової печі від дії температурних навантажень

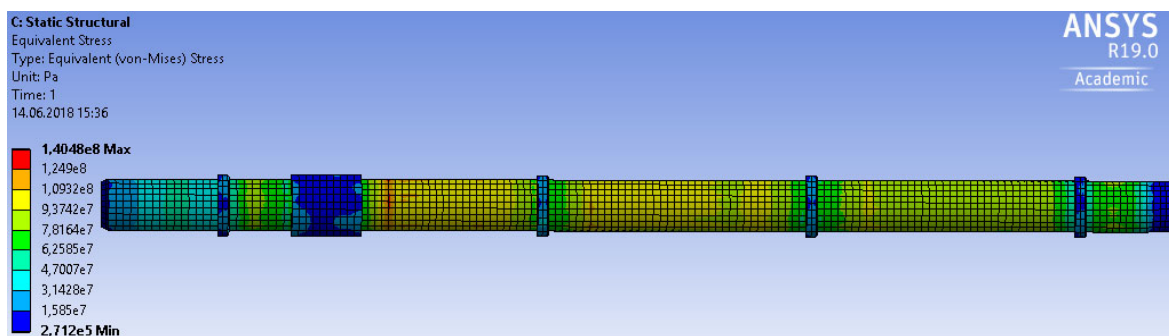


Рисунок 5.9 – Напруження обертової печі від дії температурних навантажень

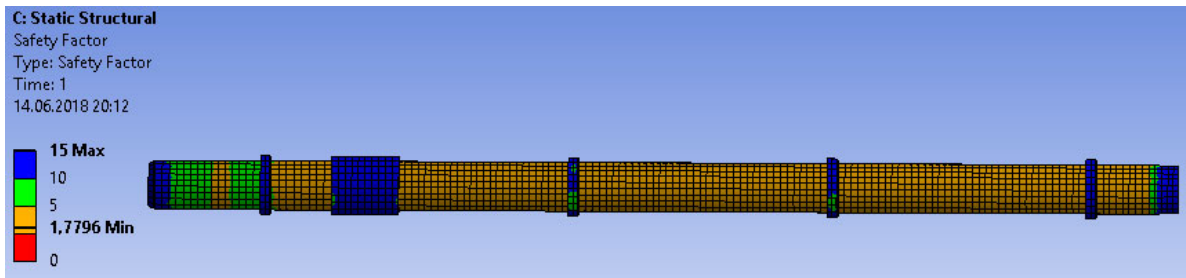


Рисунок 5.10 – Запас міцності

## Розрахунок модернізованої конструкції з матеріалом

Задаємо граничні умови:

Задаємо закріплення та напрям сили тяжіння та тиск матеріалу на поверхню печі під кутом, приведеним в розрахунках:

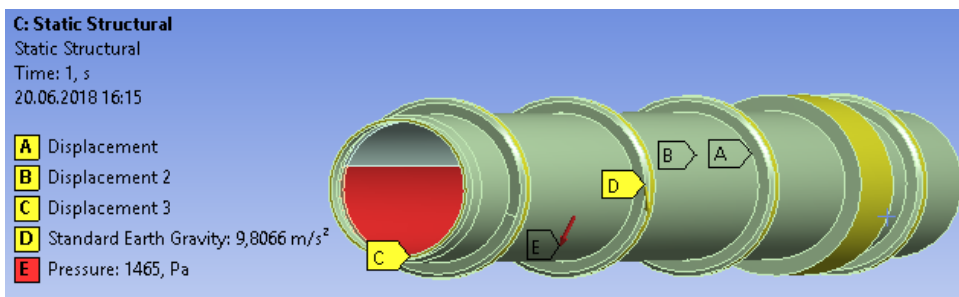


Рисунок 5.11 – Граничні умови

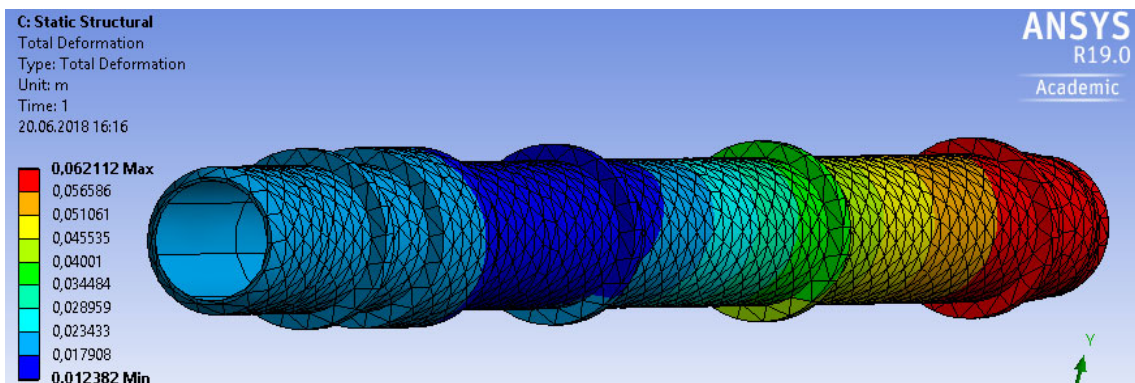


Рисунок 5.12 – Деформації з урахуванням впливу температури та матеріалу

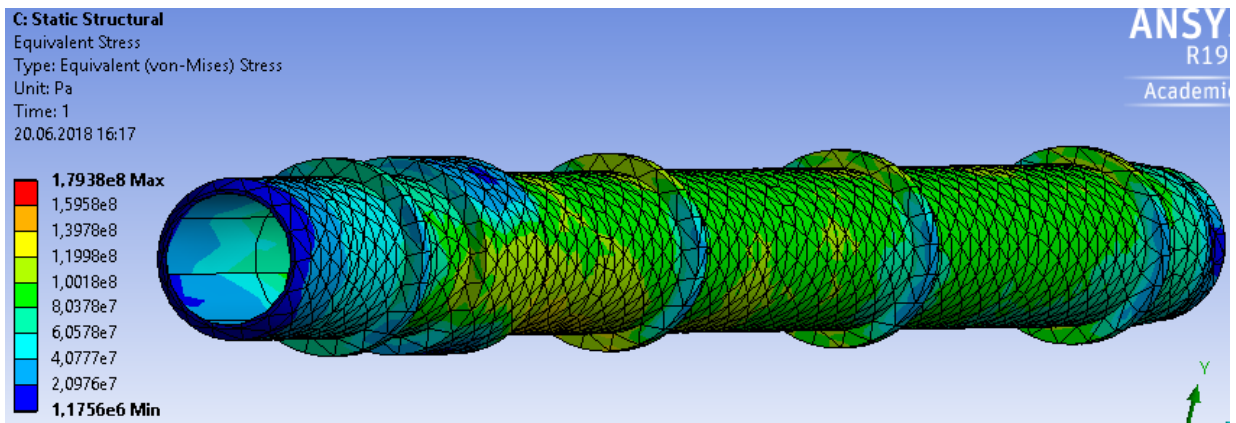


Рисунок 5.13 – Еквівалентні напруження з урахуванням впливу температури та матеріалу

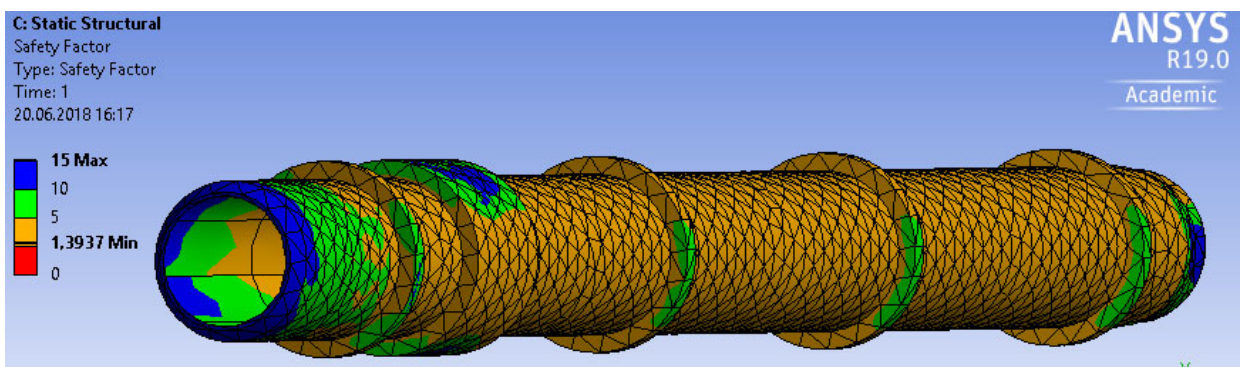


Рисунок 5.14 – Запас міцності з урахуванням впливу температури та матеріалу

## АНАЛІЗ РОЗРАХУНКІВ

В результаті проведеної роботи були отримані еквівалентні напруження і абсолютна деформація базової і модернізованої конструкцій при врахуванні маси обертової печі та матеріалу в ній з врахуванням дії температури та без неї. Максимальні еквівалентні напруження для модернізованої конструкції складають 179 МПа, для базової – 140 МПа. Однак це данні з врахуванням тиску печі з матеріалом та під дією температури в місцях контакту бандажів з роликкоопорами. Проаналізувавши графіки, видно, що на корпусі навантаження не перевищують 67 МПа, що трохи більше допустимих в 60 МПа. Однак враховуючи досвід вже запусканих установок в виробництво дане перевищення не критичне. На основі отриманих даних ми переконалися в тому що модернізована конструкція задовольняє умови міцності. Різниця еквівалентних напружень базової і модернізованої конструкцій незначна, проте використання модернізованої конструкції забезпечує суттєве спрощення конструкції, зменшення енерговитрат та підвищення продуктивності обертової печі.